中等职业学校公共课教学用书

化　　学

（农林牧渔类）

丛书主编　刘　欣
主　　编　马爱军　刘　超
副 主 编　张　丽　赵忠涛　陶　程

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材以教育部颁布的《中等职业学校医药卫生类专业化学教学大纲》为指导，结合中等职业学校医药卫生类专业特点编写。主要内容有：原子结构和化学键，溶液的浓度，常见非金属、金属单质及其化合物，化学反应速率与化学平衡，电解质溶液，烃，烃的衍生物，糖类、脂类和蛋白质，高分子化合物和化学实验。教材内容紧密结合医学实践，同时穿插一些内容精致并与医学和生活相关的链接，旨在拓宽学生的视野，增强学习的趣味性。

本教材适用于中等职业学校医药卫生类专业化学教学外，也可供其他中等职业学校及有关人员培训化学知识使用。

未经许可，不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有，侵权必究。

图书在版编目（CIP）数据

化学：农林牧渔类/马爱军，刘超主编 . —北京：电子工业出版社，2012. 7
ISBN 978 - 7 - 121 - 17564 - 0

Ⅰ. ① 化…　Ⅱ. ① 马…　② 刘…　Ⅲ. ① 化学课 - 中等专业学校 - 教材　Ⅳ. ① G634. 81

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2012）第 150347 号

策划编辑：施玉新
责任编辑：徐云鹏　　特约编辑：张燕虹
印　　刷：
装　　订：
出版发行：电子工业出版社
　　北京市海淀区万寿路 173 信箱　邮编　100036
开　　本：787 × 1092　1/16　　印张：11. 75　　字数：300 千字　　彩插：1
印　　次：2012 年 7 月第 1 次印刷
印　　数：3 000 册　　定价：23. 00 元

凡所购买电子工业出版社的图书，如有缺损问题，请向购买书店调换。若书店售缺，请与本社发行部联系，联系及邮购电话：（010）88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@ phei. com. cn，盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@ phei. com. cn。

服务热线：（010）88258888。

前　言

化学与人类的生产、生活密切相关，在医药卫生、农林牧渔、食品、化工、能源与材料等国民经济诸领域都有广泛的应用。化学课不仅是培养现代公民科学素养的一门公共基础课，也是职业学校学生学习相关专业课程的基础。

本教材是按照2009年颁布的中等职业院校农林类《化学》大纲的要求，结合农林类专业的需要，为农林类职业院校的中职学生量身定做的。教材在内容选择上，不仅包揽了大纲所有知识点和技能点，同时还做到贴近专业、贴近生活，降低难度。教材根据职业的要求，有针对性地编排化学知识和技能训练，使化学技能更好地与职业技能相衔接，为提高学生的综合职业能力打下基础。教材整体内容编写具有以下特色。

（1）淡化学科体系。每章每节的内容编排不是按照学科体系进行，而是按照相关专业或工作过程进行的。

（2）教材在每章的开篇之处设计了“本章学习要点”使学生对本章学习要求、学习目的一目了然。

（3）以活动为导入。“化学”是一门实用性很强的课程，因此，教材多数章节内容的引入都是以“课堂活动”栏目呈现的。

（4）在教材中设置“相关链接”栏目，在此栏目介绍相关化学家的生平和事迹，使学生了解科学家的研究历程，培养学生认识科学，对学生进行科学精神和价值观的教育。

（5）教材侧重对学生探究能力、动手操作能力以及创新意识的培养，注重对学生进行科学研究方法的渗透。在教材中设置“实践活动”栏目，设置了相关的探究实验供学生开展多种的研究活动。

（6）教材中设置“拓展与提高”栏目，增添了一些与环保相关的知识。这样做既能提高学生对教材的阅读兴趣，又能对学生进行环保教育，提高他们的环保意识。

（7）为了培养学生分析问题解和决问题的能力，也为了提高学生的团队合作意识，教材中特设“课堂讨论”栏目。教师在教学时可以利用这个栏目中的问题组织学生进行讨论，学生最终得到问题结论。并且在这一过程中，学生能体会到团队合作的重要性以及成功的喜悦。

（8）将教材转变为学材。每一章之后均设有“复习与提示”栏目，该栏目的内容均以“画概念图”或“画表格”的形式呈现。

（9）为了帮助学生深化对知识的掌握和应用以及便于学生对自己的学习情况的掌握，教材设有“复习题”栏目。

本教材的主编多年来一直从事职业教育教学工作，同时主持和参与省级、国家级项目，并负责多部教材的主编、副主编和参编的工作，具有进行教材研究与教学改革的基础。本教材的参编者都是来自农林类职业院校的一线教师。本教材的编写人员有马爱军、刘超、张丽、赵忠涛、陶程等。

在本书编写过程中曾得到许多同行的帮助和指导，在此深表谢意。此外，由于编写人员业务水平有限，书中内容难免有不妥之处，恳望读者予以批评，更希望与我们进行探讨与交流。

编　者

2011年8月

目　　录

第一章　重要的金属元素及其化合物 …… 1

第一节　常见的金属单质 …… 1
第二节　常见的金属化合物 …… 6
第三节　胶体 …… 9
第四节　氧化还原反应 …… 13
复习与提示 …… 20
复习题 …… 21

第二章　农用溶液的配制 …… 24

第一节　物质的量浓度 …… 24
第二节　物质的量及其单位摩尔 …… 25
第三节　溶液的配制 …… 29
第四节　渗透压 …… 33
复习与提示 …… 35
复习题 …… 35

第三章　与土壤有关的化学知识 …… 38

第一节　化学反应速率和化学平衡 …… 38
第二节　弱电解质的解离平衡 …… 46
第三节　水的离子积和溶液的 pH …… 49
第四节　离子反应和盐类的水解 …… 52
第五节　缓冲溶液 …… 58
复习与提示 …… 61
复习题 …… 62

第四章　重要的非金属元素 …… 65

第一节　非金属单质 …… 65
第二节　非金属气态氢化物 …… 70
第三节　非金属氧化物及含氧酸 …… 71
第四节　非金属离子检验 …… 74
第五节　原子结构与化学键 …… 76
复习与提示 …… 84
复习题 …… 86

第五章　与土壤、饲料分析有关的容量分析 …… 89
第一节　滴定分析法概述 …… 89
第二节　酸碱滴定法 …… 95
第三节　其他滴定分析方法简介 …… 98
复习与提示 …… 101
复习题 …… 101
第六章　与工农业生产有关的小分子有机物 …… 104
第一节　有机化合物概述 …… 104
第二节　烷烃 …… 109
第三节　不饱和烃 …… 117
第四节　苯 …… 127
第五节　烃的衍生物 …… 132
复习与提示 …… 143
复习题 …… 144
第七章　与农作物组成有关的重要有机物 …… 147
第一节　糖 …… 147
第二节　蛋白质 …… 155
第三节　脂类 …… 162
第四节　杂环化合物和生物碱 …… 167
第五节　高分子化合物 …… 172
复习与提示 …… 180
复习题 …… 181

第一章　重要的金属元素及其化合物

本章学习要点

- 了解金属元素的原子结构特征、化合价的变化规律和金属的通性；理解典型的金属单质（钠、铝、铁）与非金属、氧气、水和酸反应的化学性质，以及铝、铁等重要金属单质的特性，了解其在生产、生活中的应用和对生态环境的影响。
- 理解氧化铝、氢氧化铝的两性，铁的氧化物和氢氧化铁的性质；了解常见金属离子的焰色反应；理解铁离子的检验方法；理解碳酸钠和碳酸氢钠、铁盐和亚铁盐的化学性质及其相互转变。
- 了解分散系的基本概念和胶团结构，理解胶体的吸附作用、稳定性和凝聚作用。
- 了解氧化反应、还原反应和氧化还原反应的概念，以及常见的氧化剂和还原剂。
- 掌握化学实验基本操作；识别常见易燃易爆化学品的安全标志，了解防火与灭火常识，树立安全意识。

金属在自然界的分布相当广泛，土壤、水体、动植物体内都含有金属元素。土壤中含有种类繁多的矿物，如水合氧化物。其中最重要的代表有褐铁矿（$Fe_2O_3 \cdot nH_2O$）、赤铁矿（$2Fe_2O_3 \cdot H_2O$）、针铁矿（$Fe_2O_3 \cdot H_2O$）、水铝石（$Al_2O_3 \cdot H_2O$）、三水铝石（$Al_2O_3 \cdot 3H_2O$）等。动植物体内含的金属元素种类很多，它们对动植物的生长发育起着重要的作用。例如，大多数植物的含铁量在100～300mg/kg（干重）之间，并且大部分的铁存在于叶绿体中，是叶绿素合成的必需元素。动物体内的含铁量在30～70mg/kg之间，其中60%～70%的铁分布于血红蛋白质中，起着转运和储存营养素的作用。生物体内也有铝的存在。医学研究认为，铝是导致老年性痴呆症和帕金森病的因素之一。本章主要介绍几种常见的金属元素（钠、铝、铁）及其化合物。

第一节　常见的金属单质

课堂活动

同学们家中的厨房里有各种各样的锅：炒菜锅、煮饭锅、蒸锅、高压锅、平底煎锅……不过从制造的原料来看，一般为铁锅和铝锅两种。铁和铝是两种金属。请你根据自己的生活经验，从下面几方面谈谈你对金属性质的认识。

（1）金属的状态、光泽和颜色。

（2）金属的导电性和导热性。

（3）金属的延展性。

（4）金属的密度、熔点和硬度。

（5）使用金属炊具的注意事项。

一、金属键与金属的物理

常温下，除汞以外，金属都是晶体。经研究发现，金属晶体是由电中性的金属原子、金属阳离子和自由电子所组成。其中，金属阳离子是由金属原子脱落电子而形成的，脱落下来的电

子不专属于某个金属阳离子，而是晶体中所有的金属阳离子共有，即它们可以在整个晶体中自由移动。我们将这些自由移动的电子称为自由电子。金属阳离子与时刻运动的自由电子之间存在着强烈的作用力，将金属原子与金属阳离子结合在一起。我们可以形象地将金属晶体看成是由浸在“电子海洋”中的金属原子和金属阳离子所组成的晶体。这种通过自由电子的运动，将金属原子与金属阳离子结合在一起的化学键，称为金属键。金属晶体示意图如图 1-1 所示。

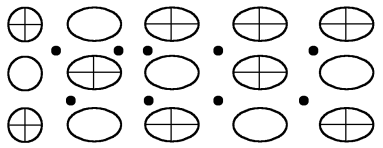


图 1-1　金属晶体示意图

金属晶体的特殊结构决定了金属具有共同的物理性质。例如具有较大的比重、有金属光泽、良好的导电性、导热性及机械加工性。

1. 金属的光泽和颜色

金属具有光泽和不同的颜色，是因为金属晶体内部存在自由电子。当可见光照射到金属表面时，自由电子吸收一定波长的可见光，然后将其余各种波长的光再发射出来，因此金属具有光泽和不同的颜色。大多数金属呈银白色。

2. 金属的导电性和导热性

金属的导电性和导热性均与金属晶体内部存在的自由电子有关。在外加电场的作用下，自由电子产生定向流动形成电流。当金属某一部分受热时，增加了该部分内部金属原子与金属阳离子的振动，自由电子在金属中运动，会不断地和金属原子或金属阳离子碰撞而交换热能，这样通过自由电子很快就会把热能传递到温度低的部分，使得金属整体的温度很快均一化。常见金属导电性和导热性由强至弱的顺序如下：

Ag　Cu　Au　Al　Zn　Fe　Pt　Sn　Pb

强　　弱

3. 金属的延展性

金属一般都具有良好的延展性，这是由金属晶体内部的结构决定的。在外界作用力下，金属晶体中各层之间发生相对滑动。滑动后，各层之间的金属键仍然存在，因此金属虽然发生变形，但不会断裂。但也有少数金属的延展性很差，敲打时很易破碎，如锰（Mn）、锑（Sb）、铋（Bi）等。金属延展性示意图如图 1-2 所示。



图 1-2　金属延展性示意图

4. 金属的密度、熔点和硬度

每种金属都有自己固定的密度、熔点和硬度。例如，汞的熔点是 -39℃，所以通常状况下，汞是液态的。金的密度是 19.3g/cm^3，而镁的密度是 1.74g/cm^3，在体积相同的条件下，

金比镁的质量要重很多。因为钠的硬度很小，所以质软如蜡，能用刀切。



土壤的重金属污染

重金属一般指相对密度大于5g/cm^3的金属。土壤中的汞、镉、铬、铅等重金属的污染是土壤的重要污染源。

土壤的重金属污染具有以下特点：

（1）毒性效应强，极低的浓度就会显示出较强的毒性。

（2）土壤中的重金属难以被微生物降解，因而会长期停留和积累在环境中，无法彻底清除。有些重金属在一定条件下还可能被微生物转化为毒性更强的物质，如甲基汞的生成，就是由无机汞经微生物的作用而生成的有机汞。

（3）土壤中重金属的变化仅是化合价和化合物种类的变化，其基本性质没有实质性改变。

（4）土壤中的重金属离子会被农作物吸收，经食物链浓缩千万倍后最终在人体内积累造成人体中毒。

1. 汞

土壤中的汞主要来源于含汞农药；含汞污水浇灌农田；含汞污泥施肥；空气中微量汞蒸气和汞尘干沉降或湿沉降进入土壤等。汞不易在土壤中稀释、扩散和迁移，因此土壤的汞污染经常是局部性的。土壤中汞的迁移是通过挥发和植物吸收两条途径完成的。汞通过挥发和沉降在大气和土壤之间进行循环。各种类型的土壤中的汞都能挥发，汞在黏性土壤中的挥发量最少，其次是在壤土中，最大量是在沙土中。植物可以吸收、吸附土壤中离子态的汞。

2. 镉

镉在环境中很稳定，只要从其矿物冶炼出，进入环境，就会一直在环境中循环，永不消失。土壤中镉的来源主要是农药、污水、污泥等。土壤中的镉分为水溶性和非水溶性两类。水溶性镉可被植物吸收，经食物链对人体造成危害。非水溶性镉不易迁移，也不易被植物吸收。土壤的pH值会影响土壤对镉的吸附率，pH值越高，对镉的吸附率也越高。镉在土壤中的分布主要集中在地表20cm左右的耕作层内，尤其在地表几厘米内的土层中浓度最高。所以，只要土壤一受到镉的污染，就会直接污染农作物。

二、金属钠、铝、铁及其化学性质

金属元素的原子的最外层电子数一般少于4个，并且金属元素的原子半径大于同周期非金属元素的原子半径，原子核对最外层电子引力较小，最外层电子较易失去。因此，失去电子转变为金属阳离子是金属参加化学反应的实质。金属失去电子转变为金属阳离子的难易顺序（金属活动性顺序）如下：

K　Ca　Na　Mg　Al　Zn　Fe　Sn　Pb　（H）　Cu　Hg　Ag　Pt　Au

金属失去电子转变为金属阳离子由易至难

钠原子、铝原子和铁原子的最外层电子数分别为 1 个、3 个和 2 个。化学反应中极易失去这些电子，化学性质非常活泼，能与许多非金属及化合物发生反应。

（一）钠及其化学性质

自然界中，钠以化合态存在。钠是低熔点、密度小的轻金属，导电性、导热性强，质软似蜡，能用刀切，新切开的断面呈银白色金属光泽。

1. 与氧反应

实践活动

常温下，在空气中用小刀切割金属钠，断层由光亮的银白色逐渐变为暗淡的灰白色。

常温下，钠能与空气中的氧气反应生成氧化物。

$$4Na + O_2 \xlongequal{} 2Na_2O$$

实践活动

用小刀切取一小块金属钠，再用滤纸吸去钠表面的油渍。将处理好的钠放在玻璃匙中加热（如图 1-3 所示），钠熔化并燃烧，火焰呈黄色，生成淡黄色固体。

加热条件下，钠与充足的氧气反应生成过氧化钠（Na_2O_2）。

$$2Na + O_2 \xlongequal{\text{点燃}} Na_2O_2$$

2. 与水反应

实践活动

用小刀切取一小块金属钠，再用滤纸吸去钠表面的油渍。将处理好的钠投入含有酚酞的水溶液中，盖上表面皿（如图 1-4 所示），钠浮在液面上游动，熔成红亮的小球并有气体逸出，烧杯内溶液变成红色。

常温下钠能与水发生剧烈反应，生成氢氧化钠和氢气。

$$2Na + 2H_2O \xlongequal{} 2NaOH + H_2\uparrow$$

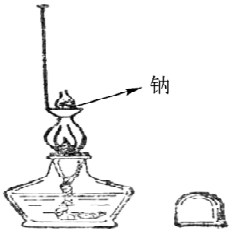


图 1-3　钠在氧气中燃烧

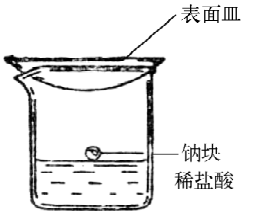


图 1-4　金属钠与水反应

3. 钠离子的检验

实践活动

将铂丝蘸浓盐酸在无色火焰上灼烧至无色。用处理好的铂丝蘸取试样在酒精灯火焰上灼烧，观察火焰颜色。见图 1-5 焰色反应。

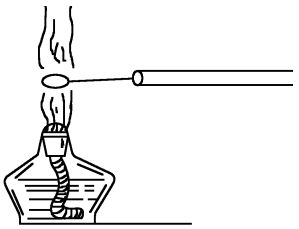


图 1-5　焰色反应

某些金属或它们的挥发性化合物在无色火焰中灼烧时使火焰呈现特征的颜色，称为焰色反应。几种常见金属及其离子的特征焰色如表 1-1 所示。焰色反应用于检验某些微量金属或它们的化合物，也可用于节日燃放的焰火。

表 1-1　几种常见金属及其离子的特征焰色

元素	锂	钠	钾	铷	钙	锶	钡	铜
焰色	紫红色	黄色	浅紫色	紫色	砖红色	洋红色	黄绿色	绿色

（二）铝及其化学性质

铝是自然界中分布最广的金属元素。它在地壳中的含量仅次于氧和硅。铝是银白色的轻金属，密度仅为 $2.7 g/cm^3$，其导热性、导电性、延展性很好。因此，铝及其合金广泛应用于宇宙飞行器、交通工具、建筑材料、通信器材、民用炊具等。生物体内也有铝的存在。医学研究认为，铝是导致老年性痴呆症和帕金森病的因素之一。

1. 与氧反应

铝在常温下与空气接触，会被空气中的氧气氧化，表面形成一层致密的氧化物膜（发生钝化），保护内层的铝不再与氧气反应。因此，铝可以保存在空气中。

铝箔在氧气中剧烈燃烧，发出耀眼的白光并放出大量的热，反应生成三氧化二铝。

$$4Al + 3O_2 \xlongequal{\text{点燃}} 2Al_2O_3$$

2. 与金属氧化物反应

在高温下，铝能夺取一些金属氧化物中的氧，把其中的金属置换出来。该反应在工业上称为铝热反应。

$$2Al + Fe_2O_3 \xlongequal{\text{高温}} Al_2O_3 + 2Fe + Q\ （热量）$$

此反应过程中放出大量的热，温度高达上千度，可使生成的铁熔化，利用这一性质可进行钢轨的无缝焊接。

3. 与酸和碱反应

常温下，铝与浓硫酸或浓硝酸发生钝化。铝能与盐酸反应生成三氯化铝（$AlCl_3$）和氢气，又能与氢氧化钠应生成偏铝酸钠（$NaAlO_2$）和氢气。所以铝制品不能长期盛放酸性或碱性物质。像铝这样既能与酸反应又能与碱反应的物质称为两性物质。

$$2Al + 6HCl = 2AlCl_3 + 3H_2\uparrow$$

$$2Al + 2NaOH + 2H_2O = 2NaAlO_2 + 3H_2\uparrow$$

（三）铁及其化学性质

铁在自然界中分布很广，在地壳中的含量仅次于氧、硅和铝位于第四位，均以化合态存在。铁是银白色具有金属光泽的重金属，具有良好的导电性、导热性和延展性。能够被磁化，是制造发电机和电动机的材料。

1. 与非金属反应

铁在干燥的空气中不与氧气反应；在潮湿的空气中与氧气、水和二氧化碳反应而生锈。铁锈的主要成分为 Fe_2O_3。铁在高温下与氧反应，生成铁的氧化物。在一定条件下，铁还能与其他非金属发生反应。

$$4Fe + 3O_2 \xlongequal{\text{高温}} 2Fe_2O_3$$

$$2Fe + 3Cl_2 \xlongequal{\text{点燃}} 2FeCl_3$$

2. 与水反应

常温下，铁不与水发生反应，但高温下，铁与水蒸气反应，生成黑色的四氧化三铁和氢气。

$$3Fe + 4H_2O \xlongequal{\text{高温}} Fe_3O_4 + 4H_2\uparrow$$

3. 与酸反应

常温下，铁与浓硫酸或浓硝酸发生钝化；与盐酸、稀硫酸发生置换反应。

$$Fe + 2HCl = FeCl_2 + H_2\uparrow$$

$$Fe + H_2SO_4 = FeSO_4 + H_2\uparrow$$

第二节　常见的金属化合物

一、钠的化合物

1. 过氧化钠（Na_2O_2）

过氧化钠是淡黄色粉末状固体，能与二氧化碳反应，生成氧气和碳酸钠。

$$2Na_2O_2 + 2CO_2 = 2Na_2CO_3 + O_2\uparrow$$

因此，过氧化钠常用在呼吸面具上做供养剂，用于潜水和高空飞行。此外，过氧化钠具有强氧化性，可以用来漂白织物。

过氧化钠还能与水反应，生成氧气和氢氧化钠。

$$2Na_2O_2 + 2H_2O = 4NaOH + O_2\uparrow$$

2. 氢氧化钠（NaOH）

氢氧化钠是白色固体，俗称火碱、烧碱、苛性钠，是一种常见的强碱，具有碱的通性，

能与酸性氧化物二氧化硅（SiO_2）和二氧化碳反应。

$$2NaOH + SiO_2 \xlongequal{} Na_2SiO_3 + H_2O$$

$$2NaOH + CO_2 \xlongequal{} Na_2CO_3 + H_2O$$

玻璃中含有二氧化硅，为了防止玻璃被碱腐蚀生成具有黏性的硅酸钠（Na_2SiO_3）将塞子和瓶口黏在一起，实验室盛放碱液的试剂瓶要用橡胶塞。

固体氢氧化钠具有极强的吸湿性，在空气中极易吸收水分而潮解；同时，氢氧化钠也易吸收空气中的二氧化碳，所以氢氧化钠应密闭保存。

氢氧化钠是一种重要的化工产品和化工原料，广泛用于化工、轻工、石油、制药等行业。

3. 碳酸钠（Na_2CO_3）和碳酸氢钠（$NaHCO_3$）

碳酸钠俗称纯碱或苏打，是白色粉末，能溶于水。碳酸氢钠俗称小苏打，是白色细小晶体，其溶解度小于碳酸钠。

碳酸钠和碳酸氢钠的化学性质有相同之处，都能与盐酸反应放出二氧化碳。

$$Na_2CO_3 + 2HCl \xlongequal{} 2NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

$$NaHCO_3 + HCl \xlongequal{} NaCl + CO_2\uparrow + H_2O$$

碳酸钠和碳酸氢钠的化学性质不同之处是碳酸氢钠受热易分解，放出二氧化碳，而碳酸钠则不能。利用这一不同点，可以鉴别碳酸钠和碳酸氢钠，也可以去除碳酸钠中混有的少量碳酸氢钠。

$$2NaHCO_3 \xlongequal{\triangle} Na_2CO_3 + CO_2\uparrow + H_2O$$

碳酸钠是重要的化工产品，用途广泛，被广泛用于玻璃、造纸、肥皂、纺织等工业上。碳酸氢钠是制作糕点的发酵粉的主要成分之一。在医药上，碳酸氢钠用于治疗胃酸过多。

二、铝的化合物

1. 氧化铝（Al_2O_3）

氧化铝是一种白色难熔的粉末，不溶于水。天然无色的氧化铝晶体称为刚玉，硬度很大，仅次于金刚石，可以用它制作钟表、机械轴承。红宝石和蓝宝石是混有少量铬和铁的氧化物的刚玉。

氧化铝是两性氧化物，既能与酸反应生成盐和水，又能与强碱反应生成盐和水。

$$Al_2O_3 + 6HCl \xlongequal{} 2AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al_2O_3 + 2NaOH \xlongequal{} 2NaAlO_2 + H_2O$$

2. 氢氧化铝［$Al(OH)_3$］

氢氧化铝是不溶于水的白色胶状物质，加热氢氧化铝会生成氧化铝。

$$2Al(OH)_3 \xlongequal{\triangle} Al_2O_3 + 3H_2O$$

因为氧化铝溶于水，所以不能用氧化铝来制备氢氧化铝。实验室里常用铝盐和氨水的反应来制取氢氧化铝。

$$Al_2(SO_4)_3 + 6NH_3 \cdot H_2O = 2Al(OH)_3\downarrow + 3(NH_4)_2SO_4$$

氢氧化铝是两性氢氧化物，既能与酸反应生成盐和水，又能与强碱反应生成盐和水。

$$Al(OH)_3 + 3HCl = AlCl_3 + 3H_2O$$

$$Al(OH)_3 + NaOH = NaAlO_2 + 2H_2O$$

在医药上，用氢氧化铝制成的片剂或凝胶是很好的抗酸药，也用于治疗消化道溃疡。

3. 硫酸铝钾［$KAl(SO_4)_2$］

硫酸铝钾［$KAl(SO_4)_2$］是一种复盐，即由两种不同的金属离子和一种酸根组成的化合物。它电离时能产生两种阳离子和一种阴离子。

带 12 个结晶水的硫酸铝钾［$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$］俗称明矾或白矾，是一种无色晶体，易溶于水，与水发生反应生成胶状的 $Al(OH)_3$，吸附能力很强，可以吸附水中的悬浮杂质并形成沉淀，使水澄清。明矾常用来做净水剂。

三、铁盐和亚铁盐

铁的盐类有铁盐（三价铁盐）和亚铁盐（二价铁盐）两种。

1. 氯化铁（$FeCl_3$）

氯化铁是黄色固体，吸湿性很强，易溶于水，并且与水发生反应。

$$FeCl_3 + 3H_2O = Fe(OH)_3 + 3HCl$$

在配制氯化铁溶液时，为了避免上述反应的发生，可以在水中加入少量的盐酸。

氯化铁在医药上用做止血剂。

2. 硫酸亚铁（$FeSO_4$）

含有 7 个结晶水的硫酸亚铁（$FeSO_4 \cdot 7H_2O$）俗称绿矾或铁矾，是蓝色或绿色的晶体，易溶于水。在潮湿的空气中吸潮，并被空气氧化成黄色。因此，硫酸亚铁需要保存在密闭的容器中。

硫酸亚铁是一种农业上常用的铁肥，适于做基肥、种肥、追肥及叶面喷施。

3. Fe^{3+}、Fe^{2+} 的检验

三价铁盐与无色的硫氰化钾（KSCN）溶液反应，生成血红色的硫氰化铁［$Fe(SCN)_3$］。二价铁盐无此反应，因此常用这个反应来检验 Fe^{3+} 的存在。

$$FeCl_3 + 3KSCN = Fe(SCN)_3 + 3KCl$$

无色　　血红色

二价铁盐与氢氧化钠（NaOH）溶液反应，生成白色的氢氧化亚铁［$Fe(OH)_2$］沉淀，此沉淀不稳定，被空气氧化逐渐变为青绿色，最终变为红褐色的氢氧化铁［$Fe(OH)_3$］沉淀。

$$FeSO_4 + 2\ NaOH = Fe(OH)_2\downarrow + Na_2SO_4$$

$$4Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4Fe(OH)_3\downarrow$$

第三节　胶　　体

实践活动　在校园附近的河流或湖泊中各取500mL的水，分别置于两个烧杯中。在其中一个烧杯中加入少量明矾晶体。两个烧杯放置片刻，观察两烧杯内水的状态的不同。

从实验结果看，加入明矾的水明显比没加明矾的水要清很多。并且在加入明矾的烧杯的底部有絮状沉淀出现。为什么两烧杯内的水会有如此大的区别？正如前面我们所介绍的明矾是净水剂，溶于水后与水发生反应生成$Al(OH)_3$胶体，$Al(OH)_3$胶体的吸附能力很强，可以吸附水中的悬浮杂质并形成沉淀，使水澄清。

什么是胶体？胶体的性质是什么？这一节我们将对胶体进行介绍。

一、分散系、胶体

1. 分散系

把一种（或多种）物质分散在另一种（或多种）物质中所得到的体系称为分散系。被分散的物质称为分散质；容纳分散质的物质称为分散剂。

分散系按照分散质粒子的大小不同可以分为溶液、浊液和胶体，如表1-2所示。

表1-2　分散系分类

分散系	溶液	浊液	胶体
分散质粒子的直径	<1nm	>100nm	1～100nm
分散质粒子	单个小分子或离子	巨大数目分子集合体	许多分子集合体或高分子
实例	酒精、氯化钠溶液	石灰乳、油水	$Fe(OH)_3$胶体、淀粉溶液
外观	均一、透明	不均一、不透明	均一、透明
稳定性	稳定	不稳定	较稳定
能否透过滤纸	能	不能	能
能否透过半透膜	能	不能	不能
鉴别	无丁达尔效应	静置分层	丁达尔效应

2. 胶体

胶体又称溶胶即胶体溶液，分散质粒子大小为在1～100nm。胶体分散系的胶体粒子能透过滤纸，但不能透过半透膜。外观上，胶体溶液不浑浊，用肉眼或普通显微镜均不能辨别。根据分散剂的不同，胶体通常有以下几种：

胶体
- 气溶胶　分散剂是气体，如烟、云、雾等
- 液溶胶　分散剂是液体，如AgI胶体、蛋白质胶体等
- 固溶胶　分散剂是固体，如有色玻璃、烟水晶等

另外，许多物质（如蛋白质、淀粉、糖原溶液及血液、淋巴液等）也都属于胶体溶液。

二、胶团的结构

溶胶的性质与其结构有关，根据大量实验，人们提出了溶胶的扩散双电层结构。下面以碘化银溶胶为例（设 $AgNO_3$ 过量），讨论胶团结构。

$AgNO_3$ 与 KI 反应生成 AgI 分子，大量的 AgI 分子聚集成大小为 1～100nm 的颗粒，该颗粒称为胶核。由于胶核颗粒很小，分散度很高，因此具有较高的表面能。如果此时体系中存在过剩的离子，胶核就要有选择地吸附这些离子。假设此时体系中 $AgNO_3$ 过量，根据“相似相吸”的原则，胶核就会优先吸附 Ag^+ 而带上正电，被胶核吸附的离子称为电位离子。因为胶核表面带有较为集中的正电荷，故它会通过静电引力而吸引带负电荷的 NO_3^-。通常，我们将这些带相反电荷的离子称为反离子。反离子与电位离子组成吸附层。胶核与吸附层组成胶粒，胶粒与部分反离子（分布在胶粒周围，称为扩散层）形成不带电的物质称为胶团。

胶团的结构表达式如下：

（1） $\{(AgI)_m \cdot n\,Ag^+ \cdot (n-x)\,NO_3^-\}^{x+} \cdot xNO_3^-$

如果 KI 过量，那么胶团的结构为：

（2） $\{(AgI)_m \cdot n\,I^- \cdot (n-x)\,K^+\}^{x-} \cdot xK^+$

上述两个胶团结构如图 1-6 所示。

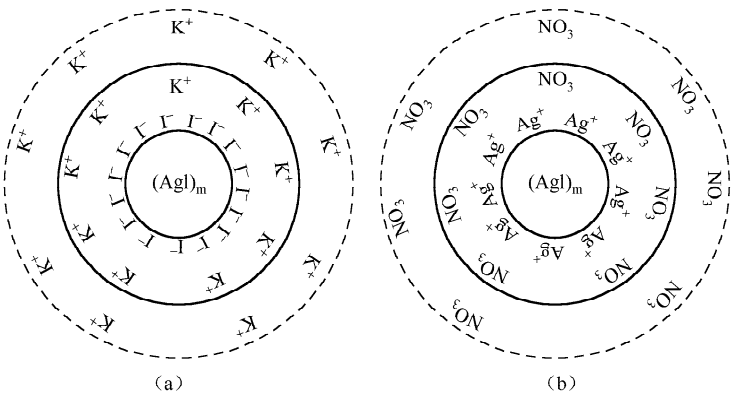


图 1-6　两个胶团结构

三、胶体的重要性质

胶体与其他分散系除了分散质粒子大小不同之外，胶体还具备一些特殊的性质。例如：清晨，在茂密的树林中，常常可以看到从枝叶间透过的一道道光柱，如图 1-7 所示。



图 1-7　森林中的丁达尔现象

类似这种自然界的现象，其实我们在化学实验室里也可以看到。

实践活动

取一烧杯，加入20mL蒸馏水，加热至沸腾，然后向沸水中滴加$FeCl_3$饱和溶液1～2mL。继续煮沸，待溶液呈红褐色后，停止加热，得到$Fe(OH)_3$溶胶；与另一烧杯中的$CuSO_4$溶液比较。把上述两个烧杯分别置于暗处，用手电筒光源照射射向两杯液体，从侧面观察现象。

从实验结果看，新制得的$Fe(OH)_3$溶胶与$CuSO_4$溶液除了颜色不同外，外观上看不到明显的差别，均为均一、稳定、透明的液体。

光束通过盛有$Fe(OH)_3$溶胶的烧杯时，成一条光亮的“通路”。光束通过盛有$CuSO_4$溶液的烧杯时，没有看到这样的现象。如果换用NaCl、KNO_3等溶液代替$CuSO_4$溶液做这同一实验，也不会看到形成光亮“通路”的现象。这种现象就是下述胶体的性质之一。

1. 光学性质——丁达尔效应

当一束光照到溶胶上，在与光路垂直的方向上可以看到一条明亮的光柱，这种现象称为丁达尔效应，如图1-8所示。产生这一现象的原因是由于胶粒对光的散射而形成的。其他分散系也会产生这种现象，但远远不如胶体显著。因此，利用丁达尔效应可以区别溶液、浊液和溶胶。

2. 动力学性质——布朗运动

1827年，英国植物学家布朗把花粉悬浮在水里，用显微镜观察，发现花粉的小颗粒在做不停的、无秩序的运动，这种现象称为布朗运动，如图1-9所示。同样，用超显微镜观察胶体，可观察到胶体粒子也在做布朗运动。这是因为水分子从各个方面撞击胶体粒子，而每一瞬间胶体粒子在不同方向受的力是不相同的，所以胶体运动的方向在每一瞬间都在改变，因而形成不停的、无秩序的运动。

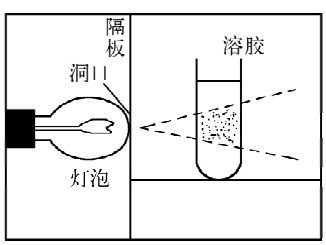


图1-8　丁达尔效应

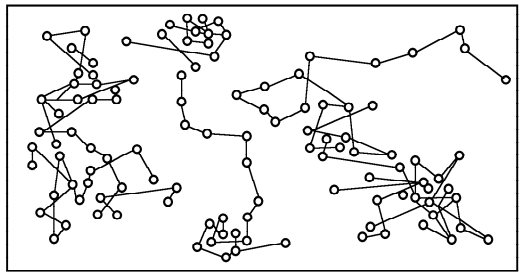


图1-9　布朗运动

3. 电学性质——电泳

在盛有红褐色$Fe(OH)_3$胶体的U形管的两个管中，各插入一个电极，如图1-10所示。通直流电后，发现阴极附近的颜色逐渐变深，阳极附近的颜色逐渐变浅。这表明$Fe(OH)_3$胶体粒子带正电荷，在电场作用下向阴极移动。这种在外加电场作用下，胶体粒子在分散剂里向阴极或阳极做定向移动的现象，称为电泳。

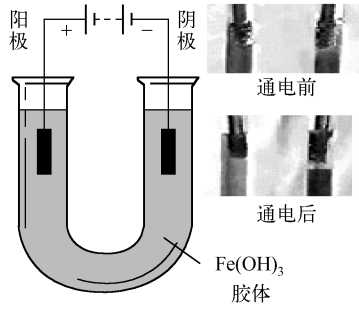


图1-10　电泳

胶体的电泳特性，有广泛的实用价值。例如，生物化学中常利用电泳来分离各种氨基酸和蛋白质；医学上利用血清的纸上电泳进行某些疾病的诊断；电泳电镀则是利用电泳将油漆、乳胶、橡胶等粒子均匀地沉积在镀件上。

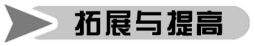
4. 透析

胶体粒子的直径比分子或离子的直径大得多，分子和离子能够透过半透膜，胶体粒子则不能透过半透膜。半透膜是一种可以让小分子物质透过，而大分子物质不能通过的薄膜。利用该性质可以将分子或离子从溶胶中分离出来从而达到纯化目的。这种利用半透膜将分子或离子与溶胶进行分离的操作过程称为透析。



血液透析

血液透析俗称洗肾，是医学上治疗由肾功能衰竭等疾病引起的血液中毒的最常用的血液净化手段。血液透析的原理同胶体的渗析类似。透析时，病人的血液与透析液分别经过人造的半透膜管的透析器，膜上的孔洞会将大分子物质保留，如血球，而使身体血液中的小分子物质通过，如尿素氮、肌酸酐、磷等，以排除身体中的有害物质及水分、调整电解质、校正血液的酸碱值。该方法可以取代部分肾脏的功能，能协助患者维持身体健康。



胶体的聚沉

许多胶体粒子带电荷。由于同种胶体粒子带同种电荷，在一般情况下，它们之间的相互排斥使它们不易聚集，并可以保存较长的时间。但是，如果往某些胶体里加入少量电解质，由于电解质电离生成的阳离子或阴离子中和了胶体粒子所带的电荷，使胶体粒子聚集长大，形成了颗粒较大的沉淀从分散剂里析出，这个过程叫做聚沉。除了加入电解质可使某些胶体聚沉外，将两种带相反电荷的胶体混合，也能发生聚沉。通常使用的无机聚沉剂大多为铝盐或铁盐，它们的水解产物是带正电荷的胶体粒子，对很多固体表面有强烈的吸附作用。由于水中悬浮物表面大多带有负电，这种吸附有效地减少了粒子表面的电荷，并造成聚沉。例如，明矾净水就是利用明矾水解后产生的带正电的 $Al(OH)_3$ 胶体与带负电的水中悬浮物、泥沙等聚沉，达到净水的目的。

胶体发生聚沉作用在一般情况下都生成沉淀，但有些胶体聚沉后，胶体粒子和分散剂凝聚在一起，成为不流动的冻状物，这类物质称为凝胶。例如，日常食用的豆腐就是以盐卤（主要成分是 $MgCl_2 \cdot 6H_2O$）或石膏（$CaSO_4 \cdot 2H_2O$）为聚沉剂，使豆浆里的蛋白质和水等物质一起聚沉而制成的一种凝胶。



自制豆腐

取适量石膏粉（聚沉剂）用生豆浆调拌均匀，加到煮沸后的豆浆中，所用石膏与豆浆的质量比约为 1∶20。边加边搅拌，豆浆中的蛋白质会聚沉，与水分离，成豆腐花。稍冷后，

用一湿布包好豆腐花，放入一可漏水的容器中，稍加压，使水渗出，即成豆腐。

拓展与提高

土 壤 胶 体

土壤胶体是土壤固体颗粒中最细微的部分，也是土壤中物理化学性质最活泼的部分。土壤胶体的性质与土壤的保肥性、供肥性、缓冲性能，以及土壤的结构等密切相关。土壤胶体的性质主要有以下几个方面。

1. 巨大的比表面积和表面能

颗粒小，有巨大的比表面积。表面巨大的表面能能吸附大量的水分子、养分和其他分子态物质。有些微生物也被吸附在表面。

2. 带电性和离子吸收代换性能

一般胶体带负电，可吸附大量的阳离子。而且大部分的离子，具有代换能力。这对养分的供应、保存以及土壤的酸碱、缓冲性有很大的意义。例如，土壤胶体中的粒子带负电荷，可以吸附带正电的离子，NH_4^+、K^+、H^+易被吸附，NO_3^-、$H_2PO_4^-$、PO_4^{3-}与土壤胶体中的粒子带电相同而排斥，不易吸附。在土壤里施用含氮量相同的肥料NH_4NO_3、$(NH_4)_2SO_4$、尿素时，肥效较差的是NH_4NO_3，因为NO_3^-不易被吸附，其中的氮元素也就被损失掉了。

3. 分散性和凝聚性

在一定条件下，土壤胶体可以分散在介质中，呈溶胶状态。有时，又可以相互凝聚，呈凝胶状态。这种凝聚一般是在阳离子的作用下产生的。在生产上，灌水要适量、施肥种类和次数要适宜，始终保持胶体多呈凝胶状态，才能有利于良好结构的形成和养分的保蓄。

第四节　氧化还原反应

课堂活动

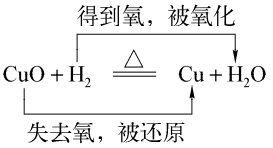
苹果汁是人们喜爱的饮料。此饮料中含有Fe^{2+}，由于氧化作用，现榨的苹果汁在空气中会由淡绿色（Fe^{2+}）变为棕黄色（Fe^{3+}）。苹果汁由淡绿色变为棕黄色的原因是什么？在榨汁时加入一些维生素C，可有效地防止这种现象发生。维生素C具有什么作用？

上面的现象可以用氧化还原反应的相关知识进行解释。氧化还原反应是一类重要的化学反应。在工农业生产、科学技术和日常生活中都有广泛的应用。例如，实验室常利用氧化还原反应来制取氧气；食物在人体中被消化，以提供生命活动所需的营养和能量；煤的燃烧、酿酒、电镀、金属的冶炼等也离不开氧化还原反应。

在初中化学中，我们已经认识了氧化还原反应。知道物质得到氧发生的是氧化反应；物质失去氧发生的是还原反应。本节将换一个角度来重新认识氧化还原反应。

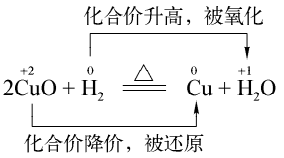
一、氧化反应和还原反应

我们曾经学过氢气还原氧化铜的反应，该反应是一个典型的氧化还原反应。



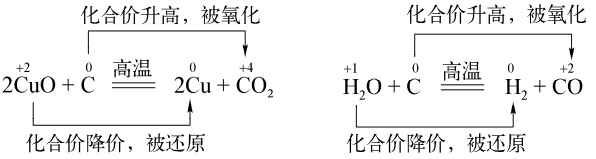
在氢气与氧化铜的反应中：氧化铜失去氧发生还原反应，氢气得到氧发生氧化反应。这两个截然相反的过程是在一个反应中同时发生的。在同一化学反应中，一种物质与氧化合，必然同时有另一种物质中的氧被夺去。也就是说，有一种物质被氧化，必然有一种物质被还原。在同一化学反应中，一种物质被氧化，同时另一种物质被还原的反应称为氧化还原反应。

下面对该反应的相关元素的化合价进行分析：



在反应中，铜元素的化合价由 +2 价降低到 0 价，氧化铜被还原；氢元素的化合价由 0 价升高到 +1 价，氢气被氧化。

我们再对氧化铜与碳的反应以及水蒸气与碳的反应等进行类似的分析，发现会有同样的情况存在：



由此可以得出这样的结论：物质所含元素化合价升高的反应是氧化反应，物质所含元素化合价降低的反应是还原反应。有元素化合价升降的化学反应是氧化还原反应。



实验室在配制 $FeSO_4$ 溶液时总是放入一些铁粉或小铁钉，试用氧化还原反应解释其中的道理。

二、氧化剂和还原剂

所含元素化合价降低的反应物称为氧化剂，氧化剂具有氧化性。所含元素化合价升高的反应物称为还原剂，还原剂具有还原性。在反应中，还原剂被氧化剂氧化生成的产物称为氧化产物。氧化剂被还原剂还原生成的产物称为还原产物。在氧化还原中，具有氧化性的物质和具有还原性的物质必定同时存在。

在化学中，常用做氧化剂的物质有 O_2、Cl_2、浓硫酸、HNO_3、$KMnO_4$、$FeCl_3$ 等；常用做还原剂的物质有活泼的金属单质，如 Al、Zn、Fe，以及 C、H_2、CO 等。



（1）日常生活中常用到铁皮，为了防止铁皮被腐蚀，常常镀上一层锌或镀上一层锡。通常，我们将镀锌的铁皮称为白铁皮；将镀锡的铁皮称为马口铁。请你分析：一旦镀层有破损，哪种铁皮先被腐蚀？理由是什么？

（2）能否用浓硫酸干燥 H_2S 气体？理由是什么？能否用浓硫酸干燥 SO_2 气体呢？试解释。



土壤中的氧化还原体系

氧化还原发生时，反应前后的物质中的元素的化合价有变化。元素的化合价发生变化的实质是电子的转移，即电子得失或电子对偏移。在氧化还原反应中，电子转移（得失或偏移）和化合价升降的关系如图 1–11 所示。



图 1–11　电子转移（得失或偏移）和化合价升降的关系示意图

在氧化还原反应中，失去电子，物质所含元素化合价升高的过程称为氧化反应；反之，得到电子，物质所含元素化合价降低的过程称为还原反应。氧化反应和还原反应共同组成氧化还原反应，缺一不可，在氧化反应的同时必然存在还原反应。

土壤中存在许多氧化剂和还原剂，并经常地进行氧化还原反应。土壤中常见的氧化还原体系有以下几种：

氧体系　　$O_2 + 4H^+ + 4e = 2H_2O$

硝酸盐体系　　$NO_3^- + H_2O + 2e = 2OH^- + NO_2^-$

铁体系　　$Fe^{3+} + e = Fe^{2+}$

锰体系　　$MnO_2 + 4H^+ + 2e = Mn^{2+} + 2H_2O$

硫体系　　$SO_4^{2-} + H_2O + 2e = SO^{2-} + 2OH^-$

氢体系　　$2H^+ + 2e = H_2$

此外，还有易于发生氧化还原反应的有机体系。

土壤氧化还原状况可直接和间接影响到养分的转化和养分的形态及其对作物的有效性。在热带地区土壤中，有机质在微生物作用下迅速氧化为二氧化碳和水，因而有机残体的还原作用小，同时存在于土壤中的活性铁，在高温下易于氧化，脱水成为不移动的氧化铁。南方土壤中积聚大量的铁与此直接有关。



化学实验须知

一、做好化学实验的要求

1. 每次实验前，要认真对实验进行预习，明确实验目的，了解实验原理，对实验步骤、

方法以及安全注意事项做到心中有数。建议每次实验前写出预习提纲。

2. 实验时，要规范操作，细致观察，如实记录实验现象和实验数据。

3. 在实验过程中，要保持实验台面的整洁，做到所用仪器摆放规整，取用完药品要及时放回原处，废纸、火柴梗、碎玻璃等及时放入垃圾桶内，各种废液及时倒入废液缸。

4. 严格遵守化学实验室安全规则。损坏仪器要及时登记并按规定进行赔偿。

5. 每次实验结束后，所用的仪器要刷洗干净放回原处，所用药品摆放整齐，擦净实验台面。值日生负责整个实验室卫生，并检查水、电、门窗等是否关好。

6. 实验做完后，要及时整理实验时所记录的资料，认真处理实验数据，独立完成实验报告。

二、化学实验室安全规则

1. 实验室内绝对不允许饮食和吸烟，严禁一切化学实验品入口。

2. 进入实验室要保持安静，严禁喧哗。

3. 实验时应按实验顺序进行操作，绝对不允许把各种化学药品任意混合，以免发生意外事故。

4. 使用浓酸浓碱时，一定要小心，切勿使其溅在皮肤或衣服上。

5. 实验后的废液绝对不允许倒入水槽内，必须倒入指定的容器内，保护环境是每个化学工作者必备的品质。

6. 实验完毕后，实验人员应洗涤所用的仪器，检查缺损后，将其整齐地放回原位，并将实验台面及试剂架擦拭干净。

7. 每次实验后，值日生负责打扫和整理实验室。离开实验室前，应关闭水源和电源，以保持实验室的整洁和安全。

三、化学实验室意外事故的处理

（1）割伤。清洁伤口，将割伤皮肤的玻璃等固体物取出，稍用力，挤出一些污血，用双氧水消毒伤口后，在伤口上抹上红药水或紫药水并包扎好。

（2）烫伤。烫伤的部位切勿用水冲洗，应立即涂抹烫伤膏、苦味酸溶液、万花油等。

（3）酸碱灼伤。先用大量水冲洗，然后对浓酸灼伤的部位用饱和碳酸氢钠或稀氨水冲洗；对浓碱灼伤的部位用硼酸溶液冲洗，最后都要用水冲洗。

（4）吸入有毒气体。当出现头痛、乏力、呼吸困难症状时，应立即到室外呼吸新鲜空气。

（5）触电。立即切断电源，必要时进行人工呼吸。

（6）起火。立即灭火并切断电源、移开附近易燃易爆物品，以防止火势扩展。灭火时，要根据不同的起火原因采取不同的灭火方法。由有机溶剂引起的小火，可用湿布或沙土覆盖灭火；由钠、钾、电石引起的小火，可用沙土覆盖，切勿用水灭火。火势较大时，要用泡沫灭火器灭火。

四、化学实验基本操作

（一）常用玻璃仪器的洗涤

做化学实验离不开各种玻璃仪器。如果这些仪器洗涤不干净，就得不到准确可靠的实验

结果。洗涤玻璃仪器一般都采用少量多次的洗涤原则。根据污染物的性质和仪器被污染的程度，可采用下列不同的洗涤方法。

1. 用水刷洗

在仪器内注入少量的水，再选择一把大小适中的毛刷就水进行刷洗。该方法可以去掉附着在仪器器壁上的尘土、可溶性和易脱落的不溶性杂质，但不能洗去油污和有机物。

2. 用去污粉、肥皂或合成洗涤剂洗

先将仪器用少量的水润湿，撒入少量去污粉，然后用毛刷擦洗仪器的内、外壁，再用自来水洗净去污粉颗粒，最后用蒸馏水洗三次，去掉自来水带来的钙、镁、氯等离子。

3. 用铬酸洗液洗

铬酸洗液洗是用等体积的浓硫酸和饱和的重铬酸钾溶解配制而成的，具有很强的氧化性，对油污和有机物质的去污能力特别强。另外，该方法可以洗涤一些口小、管径细的玻璃仪器。

用铬酸洗液洗涤仪器时，先在仪器中注入少量洗液，将仪器倾斜转动，使仪器内壁全部被洗液润湿，将洗液倒回装洗液的容器中，用自来水冲洗被洗涤的仪器，最后再用蒸馏水洗三次。对于口小、管径细的玻璃仪器，可用铬酸洗液浸泡后，再用自来水冲洗，最后再用蒸馏水洗。

铬酸洗液吸水性极强，取用洗液时应随时盖好瓶盖。当洗液出现绿色时，说明六价铬已还原为三价铬，洗液的氧化能力降低，不宜再用。

（二）化学试剂的取用

化学试剂分为固体试剂和液体试剂两种，固体试剂装在广口瓶内，液体试剂装在细口瓶或滴瓶内。见光易分解的化学试剂（如 $AgNO_3$、HNO_3 等）装在棕色试剂瓶中。试剂瓶上贴有标签，标签注明试剂的名称、浓度、配制日期等。

1. 固试体剂的取用

取用固试体剂一般使用干净而干燥的药匙。药匙有大小两端，分别用于取用较多量和较少量的试剂。药匙应专匙专用。用后的药匙要洗净，干燥。

应按要求用量取用药品，取用药品量过多不仅浪费，而且还会影响实验效果。如果取多，切不可将药品倒回试剂瓶中，可给他人使用或放在指定的容器中。

取出的药品可以用药匙或纸槽送入试管底部；取用块状固体可以使用镊子，应将试管倾斜，使其沿管壁慢慢滑下，如图 1－12、图 1－13 和图 1－14 所示。

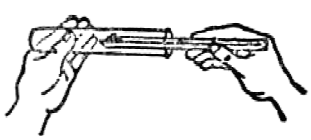


图 1－12　用纸槽加入固体

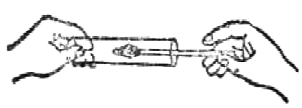


图 1－13　用药匙加入固体

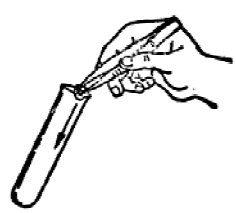


图 1－14　用镊子加入固体

2. 液体试剂的取用

液体试剂一般盛放在细口瓶或滴瓶中。根据量取溶液的准确度要求，可以选用量筒、移液管或滴定管进行操作。

从细口瓶中取用试剂时，先将瓶塞反放在实验台上，用手持握细口瓶，细口瓶上的标签必须对着操作者的手掌心，将试剂缓慢倒出，沿玻璃棒流入容器或沿试管壁流入试管中。取出需要量后，慢慢竖起试剂瓶，将试剂瓶口的残液刮入容器或试管中。盖好瓶盖放回原处。绝不允许将倒出的试剂再倒回原试剂瓶中。

从细口瓶中取用试剂如图 1－15 所示。

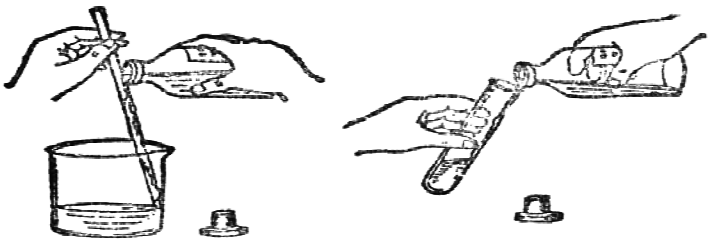


图 1－15　从细口瓶中取用试剂

从滴瓶中取用试剂时，要用滴瓶中的滴管，一瓶一管，不能用其他滴管取用试剂。为了防止试剂被污染，滴管不要与试管壁等器壁接触。试剂取用完毕后，将滴管插入滴瓶中，滴瓶放回原位。

（三）试纸的使用

实验室经常使用试纸，使用试纸要注意节约。常用的试纸有 pH 试纸、碘化钾淀粉试纸和醋酸铅试纸。

1. pH 试纸

pH 试纸是用来检验溶液或气体酸碱性的试纸，分为变色范围较大的广范试纸和变色范围较小的精密试纸。检验溶液酸碱性时，先将试纸剪成小块放在表面皿上，再用玻璃棒沾待测液点在试纸上，将试纸的颜色与比色板颜色进行比对，确定待测溶液的 pH。检验气体酸碱性时，先将试纸用蒸馏水润湿沾在玻璃棒上，将试纸放在试管口，根据试纸颜色变化可确定气体的酸碱性。

2. 碘化钾淀粉试纸

碘化钾淀粉试纸是用来检验气体氧化性的试纸。使用时，先将试纸用蒸馏水润湿沾在玻璃棒上，将试纸放在试管口。如果试纸变蓝，说明待测气体具有氧化性。当待测气体氧化性很强、浓度很大时，应注意观察，试纸上的蓝色会很快消退，原因是氧化生成的 I_2 会继续被氧化生成无色的 IO_3^-。

3. 醋酸铅试纸

醋酸铅试纸是用来检验 H_2S 气体或 S^{2-} 的试纸。能使醋酸铅试纸变黑的气体是 H_2S 气

体；能使醋酸铅试纸变黑的溶液中存在 S^{2-}。



几种阳离子的定性检验

实验用品：试管、试管夹、酒精灯、滴管、镊子、酒精棉球。

石蕊试液：NaCl 晶体、KCl 晶体、$Ca(NO_3)_2$晶体、$BaCl_2$晶体、$CuSO_4$晶体、6mol/LNaOH、0.5mol/L $Al_2(SO_4)_3$、2mol/L NaOH、0.1mol/L $FeSO_4$、0.1mol/L $FeCl_3$、0.1mol/L KSCN、0.1mol/L NH_4Cl、0.1mol/L NaOH。

1. 焰色反应（Na^+、K^+、Ca^{2+}、Ba^{2+}、Cu^{2+}的检验）

用镊子分别夹取酒精棉球，蘸取 NaCl 晶体、KCl 晶体、$Ca(NO_3)_2$晶体、$BaCl_2$晶体、$CuSO_4$晶体，放在酒精灯上烧，当酒精燃尽时，观察火焰颜色。注意：每换取一种晶体之前，必须将镊子用蒸馏水冲洗干净，并在酒精灯上烧片刻；观察 K^+的焰色反应时，要透过蓝色钴玻璃进行观察。

金属阳离子	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Ba^{2+}	Cu^{2+}
火焰颜色					

2. Al^{3+}的检验

在一支干净的试管中加入 1mL 0.5mol/L $Al_2(SO_4)_3$溶液，然后逐滴滴加 2mol/L NaOH 溶液，试管内有白色絮状沉淀生成，继续滴加 NaOH 溶液，试管内沉淀溶解。

$$Al^{3+} + 3OH^- = Al(OH)_3\downarrow$$

白色

$$Al(OH)_3 + OH^- = AlO_2^- + 2H_2O$$

3. Fe^{2+}的检验

Fe^{2+}与 OH^-生成白色的 $Fe(OH)_2$沉淀，该沉淀在空气中被氧化，迅速变为灰绿色，最后变为红褐色的 $Fe(OH)_3$沉淀。

$$Fe^{2+} + OH^- = Fe(OH)_2\downarrow$$

白色

$$4\,Fe(OH)_2 + O_2 + 2H_2O = 4\,Fe(OH)_3\downarrow$$

在一支干净的试管中加入 1mL 0.1mol/L $FeSO_4$溶液，然后逐滴滴加 2mol/L NaOH 溶液，试管内出现的白色沉淀迅速变成灰绿色，最后变为红褐色的 $Fe(OH)_3$沉淀。

4. Fe^{3+}的检验

Fe^{2+}与 SCN^-生成血红色的 $Fe(SCN)_3$溶液。

$$Fe^{2+} + 3SCN^- = Fe(SCN)_3$$

血红色

在一支干净的试管中加入 1mL 0.1mol/L $FeCl_3$溶液，然后滴入 2 滴 0.1mol/L KSCN 溶

液，溶液呈血红色。

思考题

（1）在做焰色反应实验时，为什么每换取一种晶体之前，必须将镊子用蒸馏水冲洗干净，并在酒精灯上烧片刻？

（2）为什么观察 K^+ 的焰色反应时，要透过蓝色钴玻璃？



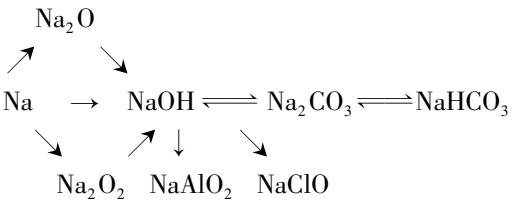
复习与提示

一、金属的特性

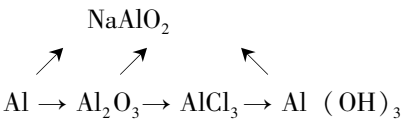
原子结构特征	
重要的物理通性	
重要的化学通性	

二、一些金属元素及其化合物之间的相互转化

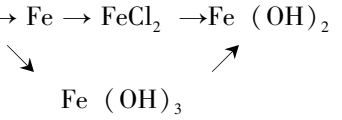
（1）



（2）



（3）

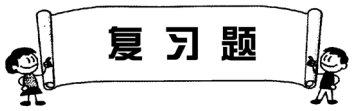


三、胶体

胶体的定义	
胶体的特性	
胶体与溶液的本质区别	

四、氧化还原反应

氧化还原反应的定义	
什么是氧化	
什么是还原	
常见的氧化剂	
常见的还原剂	



一、填空题

1. 金属钠为_____色金属，化学性质活泼，易与空气中的_____、_____ 和_____反应，因此应在_____中储存。常温下，在空气中切割金属钠，光亮的断面逐渐变暗，原因是生成了_____，化学反应方程式为_____ 。

2. 将一小块去油的金属钠，投入含有酚酞的蒸馏水中，钠在液面_____游动，并有_____逸出，溶液的颜色为_____色。化学反应方程式为_____ 。

3. 通常条件下，大多数金属单质的存在状态均为_____态，只有_____呈液态。

4. 铝单质、铝的氧化物和氢氧化物，既能与_____反应，又能与_____ 反应，这类物质称为_____物质。

5. 铁锈的主要成分是_____，可以用_____去除铁锈。

6. 火碱的化学式是_____，纯碱的化学式是 _____ 。

7. 在氧化还原反应中，氧化剂_____ 电子，化合价_____ ，被_____，发生_____反应，得到_____产物，具有_____ 性；还原剂_____ 电子，化合价_____ ，被_____，发生_____ 反应，得到_____产物，具有_____ 性；氧化还原反应的特征：_____ ，实质_____。

二、选择题

1. 检验 NaOH 中含有少量 Na_2CO_3 的方法是（　　）。

A. 加热有气体生成

B. 加盐酸有气体生成，并且生成的气体能使澄清石灰水变浑浊

C. 焰色反应为黄色

D. 加硝酸银有白色沉淀生成

2. 对一种无色晶体进行焰色反应，火焰呈黄色。该晶体的水溶液与氯化钙反应生成白色沉淀，白色沉淀物与硫酸共热，产生气体溶于水可腐蚀玻璃，该晶体为（　　）。

A. Na_2CO_3　　B. K_2SO_3　　C. NaF　　D. KNO_3

3. 金属晶体中含有的化学键是（　　）。

A. 金属键　　B. 离子键　　C. 共价键　　D. 氢键

4. 金属具有的共同的物理性质有（　　）。

A. 延展性　　B. 腐蚀性　　C. 吸水性　　D. 导电性

5. 能在自然界存在的金属单质是（　　）。

A. 钠　　B. 铝　　C. 钾　　D. 金

6. 能够检验 Fe^{3+} 的试剂是（　　）。

A. KI　　B. NaCl　　C. KSCN　　D. K_2CrO_4

7. 下列物质硬度最大的是（　　）。

A. 钠　　B. 铝　　C. 钾　　D. 金刚石

8. 小苏打的化学式是（　　）。

A. Na_2SO_4　　B. NaCl　　C. $NaHCO_3$　　D. Na_2CO_3

9. 在外加电场的作用下，$Fe(OH)_3$ 胶体粒子移向阴极的原因是（　　）。

A. Fe^{3+} 带正电荷

B. $Fe(OH)_3$ 带负电吸引阳离子

C. $Fe(OH)_3$ 胶体粒子吸附阳离子而带正电荷

D. $Fe(OH)_3$ 胶体吸附阴离子而带负电荷

10. 不能用有关胶体的观点解释的现象是（　　）。

A. 在河流入海口处易形成三角洲

B. 在 $0.01 mol \cdot L^{-1}$ $AgNO_3$ 溶液中滴入同浓度 NaI 溶液，看不到黄色沉淀

C. 在 NaF 溶液中滴入 $AgNO_3$ 溶液，看不到沉淀

D. 同一钢笔同时使用不同牌号的墨水易发生堵塞

11. 在下列反应中，不属于氧化还原反应的是（　　）。

A. $3Cl_2 + 6KOH \xlongequal{} 5KCl + KClO_3 + 3H_2O$

B. $2NO_2 + 2NaOH \xlongequal{} NaNO_3 + NaNO_2 + H_2O$

C. $SnCl_4 + 2H_2O \xlongequal{} SnO_2 + 4HCl$

D. $Mg + 2HCl \xlongequal{} MgCl_2 + H_2\uparrow$

12. 在有关物质的用途中，利用了氧化还原反应原理的是（　　）。

A. 用小苏打治疗胃酸（含 H^+）过多

B. 用稀盐酸洗去热水瓶内胆壁上的水垢［主要成分是 $CaCO_3$、$Mg(OH)_2$］

C. 干冰用于人工降雨

D. 在“非典”期间，用过氧乙酸对公共场所进行消毒

三、判断题

1. 钠是活泼性金属，它可以从硫酸铜溶液中将铜置换出来。（　　）

2. 氢氧化钠和氢氧化铝都只能与酸反应，不能与碱反应。（　　）

3. 铝与盐酸或氢氧化钠反应都能生成氢气。（　　）

4. 可以用加热的方法除去碳酸钠中混有的少量碳酸氢钠。（　　）

四、简答题

1. 装有苛性钠固体的试剂瓶忘记盖瓶盖，发现其中潮解并有少量溶液。为了证明其变质做如下试验：

（1）取其中溶液加入 $Ba(OH)_2$ 溶液，有白色沉淀生成。

（2）继续加稀盐酸，沉淀溶解并有气体生成。

请你写出苛性钠变质的反应、所做试验的相关反应，并简要叙述应如何保存苛性钠。

2. 是否只有得氧、失氧的反应才是氧化还原反应？

3. 判断下列化学反应方程式是否是氧化还原，若是，则指明氧化剂、还原剂、氧化产物与还原产物及什么元素被氧化、什么元素被还原。

（1）$3Cl_2 + 8NH_3 = 6NH_4Cl + N_2$

（2）$2H_2S + SO_2 = 3S + 2H_2O$

（3）$Cl_2 + 2NaOH = NaCl + NaClO + H_2O$

（4）$2KClO_3 \xlongequal{MnO_2} 2KCl + 3O_2\uparrow$

（5）$2Na_2O_2 + 2CO_2 = 2Na_2CO_3 + O_2$

第二章　农用溶液的配制

本章学习要点

- 掌握物质的量及其单位——摩尔；理解化学反应中各物质之间物质的量的比例关系，并会运用这种关系进行简单计算。
- 掌握摩尔质量的概念及有关计算。
- 理解溶液物质的量浓度的表示方法；掌握物质的量浓度溶液的配制。

课堂活动

农业科研上常用 NaCl 溶液来选种，现一农业技术员需要体积为 100mL，浓度为 0.5mol/L 的 NaCl 溶液。你能帮助他配制这样的溶液吗？

要想帮助这位农业技术员，我们必须解决如下问题：

（1）浓度单位 mol/L 的含义。

（2）用这种浓度表示的溶液的配制方法。

（3）如何配制溶液。

第一节　物质的量浓度

一、物质的量浓度

用 1L（升）溶液中所含溶质的“物质的量”来表示溶液的浓度称为物质的量浓度，符号是 C，单位是 mol/L，其表示式如下：

$$\text{物质的量浓度（mol/L）} = \frac{\text{溶质物质的量（mol）}}{\text{溶液的体积（L）}}$$

数学表达式：$C_B = n_B / V$。

在物质的量浓度的表达式中出现了溶液体积。在实际工作中，我们可以用一种称为容量瓶的玻璃仪器来限定所配溶液的体积。

课堂活动

请同学们观察容量瓶上的标记，并根据容量瓶上的标记推测容量瓶的用途和使用方法。

二、容量瓶的使用

容量瓶的特点和使用方法如下：

（1）因为容量瓶的规格是有限的，所以只能配制体积与容量瓶容积相同的一定物质的量浓度的溶液。

（2）容量瓶的容积是在 20℃时标定的，而绝大多数物质溶解时都会伴随吸热或放热过程，引起温度的升降，从而影响到溶液的体积。因此，在配制一定物质的量浓度的溶液时，不能直接将溶质放入容量瓶中进行溶解，而要在烧杯中溶解，待烧杯中溶液的温度恢复到室

温时，才能将溶液转移到容量瓶中。

（3）各种仪器有各自的用途，容量瓶是配制一定体积溶液用的，有些溶液（如碱液）会腐蚀玻璃，盛放久了会影响容量瓶的容积。因此，配好的溶液不应保存在容量瓶里，要把配制好的溶液分别倒入指定的容器（如试剂瓶）里。

第二节　物质的量及其单位摩尔

在物质的量浓度的表达式中除了出现了溶液体积外，还有溶质的物质的量。什么是物质的量？

一、物质的量及其单位摩尔

“物质的量”与我们熟悉的长度、质量和时间等一样是国际单位制（SI）的7个基本物理量之一。表2－1给出国际单位制（SI）的7个基本物理量及相关单位。

表2－1　国际单位制（SI）的7个基本物理量及相关单位

物理量	单位
长度	米（m）
质量	千克（kg）
时间	秒（s）
电流	安培（A）
热力学温度	开尔文（K）
物质的量	摩尔（mol）
发光强度	坎德拉（cd）

物质的量是表示物质所含微粒数（N）与阿伏加德罗常数（N_A）之比，即 $n = N/N_A$。它是把微观粒子与宏观可称量物质联系起来的一种物理量，符号为“n”。摩尔（mol）是物质的量的单位，这个单位是含有相同数目的分子、原子、离子等微粒的集体。科学上将12g碳－12所含的原子数目 6.02×10^{23} 这个数值称为阿伏加德罗常数，用符号 N_A 表示。某物质如果含有阿伏加德罗常数个微粒，该种微粒的物质的量就是1mol。例如：

1mol C 含有 6.02×10^{23} 个碳原子。

1mol CO_2 含有 6.02×10^{23} 个二氧化碳分子。

1mol H_2SO_4 含有 6.02×10^{23} 个硫酸分子。

1mol NaCl 含有 6.02×10^{23} 个钠离子和 6.02×10^{23} 个氯离子。

我们在使用摩尔这一单位时必须注意以下问题：

（1）摩尔不能用来表示宏观物质，只能用来表示微观微粒。例如，不能说1mol 人、3mol 苹果等，但可以说1mol O_2、3mol H^+。

（2）要指明微观粒子的种类，如分子、原子、离子等，否则会毫无意义。

课堂活动

请你判断并分析下列各种表示方法是否正确。

0.5mol 氧原子（　）　2mol Na^+（　）　2mol 氧元素（　）

0.5mol 汽车（　）　5mol 电子（　）　2mol 计算机（　）

0.5mol 氧分子（　）

相关链接

阿伏加德罗



图 2-1　阿伏加德罗

图 2-1 是意大利著名的物理学家和化学家阿伏加德罗（Ameldeo Avogardo，1776—1856）。

阿伏加德罗，1776 年 8 月 9 日生于都灵的一个贵族家庭。1792 年 8 月 9 日入都灵大学学习法学，1796 年获法学博士，以后从事律师工作。1800—1805 年又专门攻读数学和物理学，之后主要从事物理学、化学研究。

阿伏加德罗毕生致力于原子—分子学说的研究。1811 年，阿伏加德罗在化学中引入了分子概念，提出了阿伏加德罗假说，即同温同压下，同体积的任何气体都含有相同数目的分子。

根据这个观点，阿伏加德罗完善地解释了盖·吕萨克的气体反应定律。例如，1 体积的氢气和 1 体积的氯气化合，之所以生成了 2 体积的氯化氢，是由于 1 个氢分子是由 2 个氢原子构成的，1 个氯分子是由 2 个氯原子构成的，它们相互化合就生成 2 体积的氯化氢。

阿伏加德罗假说不仅圆满地解释了盖·吕萨克的实验结果，还确定了气体分子含有的原子数目，开辟了一条确定相对分子质量和相对原子质量的新途径。但是，这个假说在当时并没有得到公认。当时，化学界的权威道尔顿（John Dalton）和贝采里乌斯反对阿伏加德罗假说，他们认为由相同原子组成分子是绝不可能的。

在 19 世纪 60 年代，由于意大利化学家康尼查罗（Stanislao Cannizzaro）的工作，阿伏加德罗假说才得到了公认。现在，阿伏加德罗假说已经被物理学和化学中的许多事实所证实，公认为一条定律了，即阿伏加德罗定律。

二、摩尔质量

1mol 不同物质的分子、原子或离子的数目尽管相同，但由于不同的微粒本身质量各不相同，所以 1mol 不同物质的质量也是不相同的。

实践活动

根据下面的实物样品及相关数据，你能推导出什么？

1mol 碳粉的质量为 12g。

1mol 水的质量为 18g。

1mol 铁粉的质量为 56g。

1mol 氢氧化钠的质量为 40g。

1mol 硫酸的质量为 98g。

1mol 五水硫酸铜的质量为 250g。

1mol 物质的质量称为该物质的摩尔质量，单位是克/摩尔（g/mol）。用 M 表示物质的摩尔质量。各种不同的微粒的摩尔质量与相对原子量、相对分子量有一定关系。

（1）单原子及其离子的摩尔质量数值上均等于相对原子量，单位为 g/mol。因为电子的相对质量极小，所以得或失电子时，质量的增、减可不考虑。

微粒	摩尔质量（g/mol）	微粒	摩尔质量（g/mol）
Cu	64	O	16
Cu^{2+}	64	O^{2-}	16

（2）多原子单质或化合物的摩尔质量数值上等于相对分子量，单位是克/摩尔（g/mol）。

微粒	摩尔质量（g/mol）	微粒	摩尔质量（g/mol）
O_2	32	CH_4	16
H_2SO_4	98	CO_2	44
$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	250	K_2SO_4	174
KOH	56	$C_{12}H_{22}O_{11}$	342

（3）原子团的摩尔质量数值上等于式量，单位是克/摩尔（g/mol）。式量是原子团中各原子的原子量之和。

微粒	摩尔质量（g/mol）	微粒	摩尔质量（g/mol）
OH^-	17	PO_4^{3-}	95
SO_4^{2-}	96	HCO_3^-	61
CO_3^{2-}	60	NO_3^-	62

三、物质的质量、物质的量、摩尔质量和微粒个数之间的联系

物质间的化学反应是分子、原子或离子间按比例定量进行的，而这些微粒既看不到又难以称量，对科学研究和应用都很不方便。物质的量及其单位摩尔的引入像一座桥梁一样将难以称量的物质微粒与易于称量的物质联系起来，为科学的发展做出了巨大的贡献。物质的质量、物质的量、摩尔质量和微粒个数之间的关系如下所示：

$$\text{物质的质量（克）} \underset{\times\text{摩尔质量}}{\overset{\div\text{摩尔质量（克/摩尔）}}{\rightleftharpoons}} \text{物质的量（摩尔）} \underset{\div 6.02\times10^{23}}{\overset{\times 6.02\times10^{23}}{\rightleftharpoons}} \text{微粒个数（个）}$$

其中，物质的量（n），物质的质量（m）和摩尔质量（M）之间的关系可以用下面的公式表示：

物质的摩尔质量 = 物质的质量/物质的量

即
$$M = \frac{m}{n}$$

在上式中，已知两个量就可求第三个量。

【例 2－1】 49g H_2SO_4的物质的量是多少？

【解】$M(H_2SO_4) = 98g/mol$，$m(H_2SO_4) = 49g$

$$n(H_2SO_4) = \frac{m}{M} = \frac{49g}{98g/mol} = 0.5mol$$

【答】49g H_2SO_4的物质的量是0.5mol。

【例2-2】 2mol OH^-的质量是多少?

【解】 $M(OH^-) = 17g/mol$，$n(OH^-) = 2mol$

$$m(OH^-) = n \times M = 2mol \times 17g/mol = 34g$$

【答】2mol OH^-的质量是34g。

【例2-3】 80g的氧气中氧分子的物质的量、氧分子和氧原子的个数各是多少?

【解】 $m(O_2) = 80g$，$M(O_2) = 32g/mol$

$$n(O_2) = \frac{m}{M} = \frac{80g}{32g/mol} = 2.5mol$$

氧分子的个数 $= 2.5mol \times 6.02 \times 10^{23}个/mol = 1.5 \times 10^{24}个$。

氧原子的个数 $= 2 \times 2.5mol \times 6.02 \times 10^{23}个/mol = 3 \times 10^{24}个$。

【答】80g的氧气中氧分子的物质的量为2.5mol、氧分子的个数是1.5×10^{24}个、氧原子的个数是3×10^{24}个。

【例2-4】 现有1g氢气和8g氧气，通过计算得出哪种气体含的分子个数多。

【解】1克氢气的物质的量是：

$$n(H_2) = \frac{m}{M} = \frac{1g}{2g/mol} = 0.5mol$$

所含的氢分子的个数是：$0.5mol \times 6.02 \times 10^{23}个/mol = 3.01 \times 10^{23}个$。

8g氧气的物质的量是：

$$n(O_2) = \frac{m}{M} = \frac{8g}{32g/mol} = 0.25mol$$

所含的氧分子的个数是：

$$0.25mol \times 6.02 \times 10^{23}个/mol = 1.505 \times 10^{23}个$$

【答】1g H_2含有3.01×10^{23}个氢分子，8g O_2含有1.505×10^{23}个氧分子，1g H_2中所含的分子个数比8g O_2中所含的分子个数多。

拓展与提高

气体摩尔体积

决定物质体积大小的因素如下。

(1) 物质粒子数的多少。

(2) 物质粒子本身的大小。

(3) 物质粒子之间距离的大小。

对于气体分子而言，分子间的平均距离比分子直径大得多。因此，当气体的物质的量(粒子数)一定时，决定气体体积大小的主要因素是粒子间平均距离的大小；而当温度和压强一定时，气体分子间的平均距离大小几乎是一个定值，故粒子数一定时，其体积是一定值。

因此，我们把单位物质的量的气体所占的体积叫做气体摩尔体积，单位是L/mol。相同气体摩尔体积的气体含有的粒子数也相同。

在标准状况下，1mol任何气体所占的体积都约为22.4L。

课堂活动　现在你能帮助那位农业技术员配制溶液了吗？如何用氯化钠固体配制100mL 0.5mol/L 的 NaCl 溶液？如何用 2.0mol/L NaCl 溶液配制 100mL 0.5mol/L NaCl 溶液？

第三节　溶液的配制

一、物质的量浓度溶液的配制

配制的步骤如下。

（1）首先算出配制溶液需固体溶质的质量；若用浓溶液配制稀溶液，则需计算所取浓溶液的体积。

【例2-5】　配置 100mL0.5mol/L NaCl 溶液，需要固体 NaCl 的质量是多少？

【解】NaCl 的物质的量为：

$$n = c \cdot V = 0.5\text{mol/L} \times 0.1\text{L} = 0.05\text{mol}$$

0.05mol NaCl 的质量为：

$$m = n \cdot M = 0.05\text{mol} \times 58.5\text{g/mol} = 2.925\text{g}。$$

因此，配置 100mL 0.5mol/L NaCl 溶液，需要固体 NaCl 2.925g。

【例2-6】　欲配制 100mL 0.5mol·L^{-1}的 NaCl 溶液，需要 2.0mol·L^{-1} NaCl 溶液的体积是多少毫升？

在实际科研和生产上，常需要将浓溶液配制成稀溶液，这就是溶液的稀释问题。溶液的稀释实际是向浓溶液中加入适量溶剂，使浓溶液的浓度降低到所需要的低浓度溶液的过程，其特点是溶液的体积变大，而溶质的物质的量不变，即有

$$C_{浓} \cdot V_{浓} = C_{稀} \cdot V_{稀}$$

【解】设配制 100mL 0.5mol·L^{-1}NaCl 溶液，需要 2mol·L^{-1}NaCl 溶液的体积为 V_2。

根据 $c_1 \cdot V_1 = c_2 \cdot V_2$

$$V_2 = \frac{c_1 \times V_1}{c_2} = \frac{0.5\text{mol/L} \times 0.100\text{L}}{2\text{mol/L}} = 0.025\text{L} = 25\text{mL}$$

因此，需要 2.0mol·L^{-1} NaCl 溶液 25mL。

（2）根据计算数值称量固体溶质（或量取一定体积浓溶液）。

（3）溶解（或稀释）：用少量水进行溶解或稀释。

（4）转移：将溶解后的溶质转移到容量瓶中。为了把溶质完全转移到容量瓶中，必须洗涤溶解或稀释用的器皿，并将洗涤液转移到容量瓶中。

（5）定容：溶液体积不能简单加减，需用容量瓶定容，不需要计算水的用量。当用滴管定容到溶液的凹面与容量瓶的刻度线相切时，液体的体积恰好为容量瓶的标定容积。

（6）摇匀：将容量瓶反复颠倒、振荡后，会出现容量瓶中的液面低于容量瓶刻度线的情况，主要是部分溶液在润湿容量瓶磨口时有所损失。此时，不能再加水至刻度。

（7）装入试剂瓶、贴标签：配制好的溶液应放入试剂瓶中储存。

课堂活动

在配制溶液的过程中，哪些操作可能会引起所配溶液的浓度与要求的浓度产生差异？

相关链接

溶液浓度的表示方法

溶液是由两种或多种组分所组成的均匀体系。所有溶液都是由溶质和溶剂组成的，溶剂是一种介质，在其中均匀的分布着溶质的分子或离子。溶液浓度是指一定量的溶剂（或溶液）中含有的溶质的量。

根据溶质和溶剂量的表示方法不同，溶液浓度可以有不同的表示方法。例如，溶质的量可以用克、摩尔表示，溶液的量可以用克、升、摩尔表示，或用溶剂的质量来表示。于是，溶液的浓度表示法是多种多样的。而且，同一种溶液采用了不同浓度表示法，所得的浓度数值也是不同的。

1. 质量百分浓度

一定质量的溶液中溶质所占有的百分数称为质量百分浓度。它是无单位的。

$$\text{溶质的质量百分浓度} = \frac{\text{溶质的质量}}{\text{溶质质量} + \text{溶剂质量}} \times 100\%$$

2. 质量摩尔浓度

以1kg溶剂中所溶解的溶质的物质的量表示的浓度称为质量摩尔浓度，以符号 b_B 表示，单位为 $mol \cdot kg^{-1}$。

$$\text{质量摩尔浓度} = \frac{\text{溶质物质的量}}{\text{溶剂的质量}}$$

3. ppm、ppb 浓度

对于一些极稀的溶液，常用 ppm 或 ppb 来表示浓度。ppm 是百万分之一浓度，即溶质的质量占溶液质量的百万分之一就是1ppm。ppb 是十亿分之一浓度，即溶质的质量占溶液质量的十亿分之一就是1ppb。污水中有害物质的含量常用 ppm 表示，食物中有害物质（如农药的残留量）则常用 ppb 表示。

实践活动

配制农业上用于选种的 NaCl 溶液 100mL，溶液的浓度为 2.0mol/L。

1. 计算溶质的质量

计算配制 100mL 2.0mol/L NaCl 溶液所需 NaCl 固体的质量为 _____ g。

2. 称量

在托盘天平上称量出所需质量的 NaCl 固体。

托盘天平用于粗略的称量。最大载荷为 200g 的托盘天平，能称准至 0.1g（感量为 0.1g）；最大载荷为 500g 的托盘天平，能称准至 0.5g（感量为 0.5g）。

托盘天平的横梁架在台秤座上，横梁左右有两个盘子，横梁中部的下面有指针（有的托盘天平指针在上面）。根据指针在刻度盘前摆的情况，可看出托盘天平的平衡状态。称量前，要先测定托盘天平的_____（不放物体时，托盘天平的指针在刻度盘的指示位置）。零点应该在刻度盘的中央，如果不在可用中间的螺丝（有的螺丝在两边）来调节。称量时，把称量物放在_____上，_____ 放在右盘上，添加 10g 以下砝码时，可移动标尺上的游码。当最后的停点（左右两盘上分别放上称量物和砝码后，达到平衡时，指针在刻度盘上指示的位置）与零点符合时（可以偏差 1 小格以内），砝码的重量就是称量物的重量。

称量时，必须注意以下几点：

（1）称量物要放在称量用纸或表面皿上，不能_____；潮湿的或具有腐蚀性的药品，则要放在玻璃容器内。

（2）不能称量热的物品。

（3）称量完毕后，应把砝码_____，把标尺上的游尺游至“0”处，使托盘天平各部分恢复原状。

（4）应保持天平和桌面的整洁。

3. 配制溶液

把称好的 NaCl 固体放入烧杯中，再向烧杯中加入 40mL 蒸馏水，用玻璃棒搅拌，使 NaCl 固体完全溶解。



图 2-2　容量瓶检漏

容量瓶在使用前要_____。如图 2－2 所示，检漏时，向容量瓶中加水到标线附近，塞好瓶塞，把瓶倒立 2min，观察_____，如果不漏水即可使用。容量瓶的玻璃磨口塞是配对专用的，切勿_____。

将烧杯中的溶液沿玻璃棒转移到容量瓶中，用少量蒸馏水洗涤烧杯 2～3 次，并将洗涤液 _____。轻轻摇动容量瓶，使溶液混合均匀。继续向容量瓶中加入蒸馏水，直到液面在刻度线以下_____ cm 时，改用_____逐滴加水，使溶液凹面恰好与刻度_____。盖好容量瓶瓶塞。配置 NaCl 溶液的过程如图 2-3 所示。反复颠倒、摇匀，使瓶内溶液混合均匀，如图 2-4 所示。

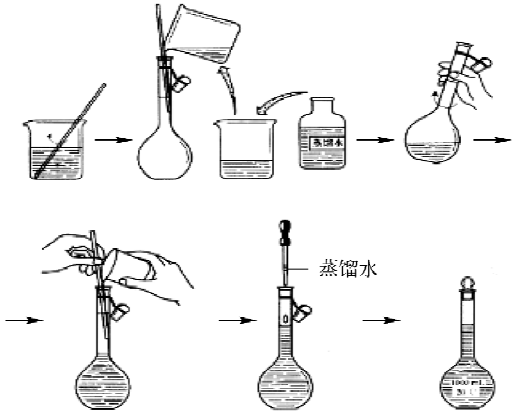


图 2-3　配置 NaCl 溶液的过程

4. 将配制好的溶液倒入试剂瓶中，贴好标签，注明溶液的名称和浓度。

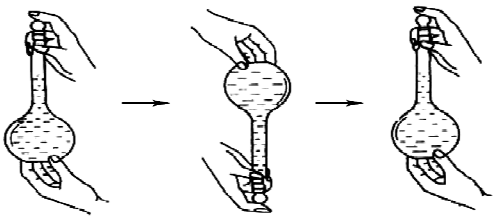


图 2-4　将容量瓶内溶液混合均匀

二、用 18.4mol/L 的浓硫酸配制 100mL 2mol/L 稀硫酸

（1）计算所需 18.4mol/L 浓 H_2SO_4溶液的体积。

计算配制 100mL 2mol/L 稀 H_2SO_4溶液所需 18.4mol/L 浓 H_2SO_4溶液的体积为_____。

（2）量取所需 18.4mol/L 浓 H_2SO_4溶液的体积。

用干净并干燥的 10mL 的量筒量取所需 18.4mol/L 浓 H_2SO_4溶液的体积。

（3）稀释浓硫酸。

把已取出的 18.4mol/L 浓 H_2SO_4慢慢地沿玻璃棒（或器壁）倒入盛有_____的烧杯中，并不断地用玻璃棒搅拌。稀释浓硫酸的正确操作和错误操作如图 2-5 和图 2-6 所示。

浓硫酸溶于水时和水发生剧烈的反应，并放出_____。在稀释浓硫酸时，一定要_____，切勿_____。将浓硫酸慢慢地沿玻璃棒（或器壁）倒入并不断地搅拌，目的是使产生的热量迅速地扩散。根据计算，在 20℃时，将 1kg 浓硫酸与过量的水混合，放出的热量足以使 2kg 的水达到 100℃。如果把水倒进浓硫酸里，水的密度较小，而浓硫酸的密度为 1.84g/cm^3，水浮在硫酸的上面，溶解时放出的热，会使水立即沸腾，酸滴向四周飞溅。

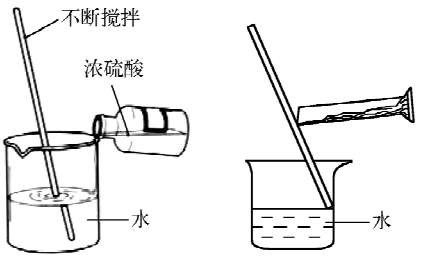


图 2-5　稀释浓硫酸的正确操作

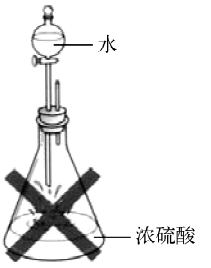


图 2-6　稀释浓硫酸的错误操作

（4）配制溶液。

将已稀释的硫酸溶液沿_____转移到容量瓶中。用少量蒸馏水洗涤烧杯和玻璃棒 2～3 次，并将洗涤液_____，然后加水至刻度。盖好容量瓶瓶塞。反复颠倒、摇匀。

（5）将已配制好的 100mL 2mol/L 稀硫酸溶液倒入指定的容器中。

课堂讨论

思考题

（1）应该怎样称量易潮解的 NaOH 固体？

（2）将烧杯里的溶液转移到容量瓶中以后，为什么要用蒸馏水洗涤烧杯 2～3 次，并将洗涤液也全部转移到容量瓶中？

（3）在用容量瓶配制溶液时，如果加水超过了刻度线，倒出一些溶液，再重新加水到刻度线，这种做法对吗？如果不对，会引起什么误差？

（4）用容量瓶定容时，俯视或仰视刻度线，对溶液的浓度有何影响？

实验内容	所需试剂	所需仪器
2－1　一定物质的量浓度的溶液配制	NaCl、蒸馏水、18.4mol/L 的浓硫酸	100mL 烧杯、10mL 量筒、100mL 容量瓶、胶头滴管、玻璃棒、药匙、滤纸、托盘天平

第四节　渗　透　压

课堂活动

你能解释下列现象吗？

（1）将几滴红墨水滴入一杯清水中，很快就会使整杯水染成红色。

（2）在盛有浓蔗糖水的杯子中，在液面上小心地加入一层清水，过一会儿，上层的水也有甜味了，最后得到浓度均匀的糖水。

以上现象是由于在无阻隔情况下溶质和溶剂分子相互扩散的结果。当两种不同浓度的溶液互相接触时，同样也会发生这种扩散现象，最后成为浓度均匀的溶液。

一、扩散

物质自发地由高浓度向低浓度迁移的现象称为扩散。扩散现象不仅存在于溶质与溶剂之间，也存在于不向浓度的溶液之间。

课堂活动

如果在两个不同浓度的溶液之间存在一种能有选择地通过或阻止某些粒子通过的物质（半透膜），那么在两溶液之间会出现什么现象？

如图 2-7 所示，在一个连通器两边各装入蔗糖溶液和纯水，中间用半透膜将其隔开。扩散开始之前，连通器两边的玻璃柱中的液面高度是相同的，经过一段时间的扩散以后，玻璃柱内的双面高度不再相同，蔗糖一边的液面比纯水一边的液面要高，这是因为半透膜能够阻止蔗糖分子向纯水一边扩散。由于在单位体积内纯溶剂中溶剂分子比蔗糖溶液中的溶剂分子多，进入溶液中的水就比离开的水多，故蔗糖溶液的液面升高。

二、渗透及渗透压

这种由物质粒子通过半透膜自动扩散的现象称为渗透。当单位时间内从两个相反方向通过半透膜的水分子数相等时，渗透达到平衡，两侧液面不再发生变化。

渗透平衡时，液面高度差所产生的压力叫渗透压。换句话说，渗透压就是阻止渗透作用进行所需加给溶液的额外压力。对于由两个不同浓度溶液构成的体系来说，只有当半透膜两侧溶液的浓度相等时，渗透才会终止。这时，溶液两边的渗透压相等，该溶液称为等渗溶液。

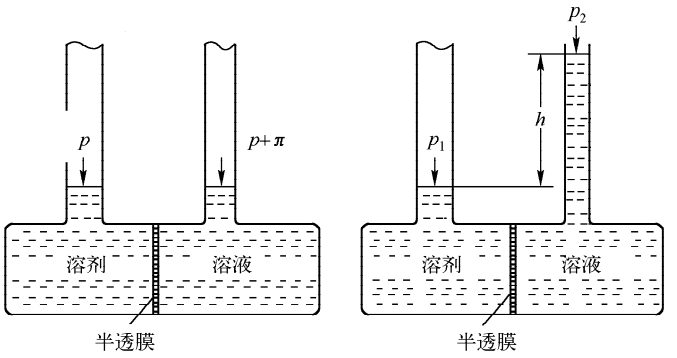


图 2-7　渗透压示意图

渗透作为一种自然现象，广泛地存在于动、植物的生理活动中。我们知道，生物体内所占比例最高、作用最大的是水分。因此，生物体中的细胞液和体液都是水溶液，它们具有一定的渗透压，而且动、植物体内的绝大部分膜都是半透膜。因此，渗透压的大小与生物的生长与发育有着密切的关系。例如，将淡水鱼放在海水中，由于其细胞液浓度较低，因而渗透压较小，它在海水中就会因细胞大量失水而死亡。人体也是如此，在正常情况下，人体内血液和细胞液具有的渗透压大小相近。当人体发烧时，由于体内水分的大量蒸发，血液浓度增加，其渗透压加大，此时如果不及时补充水分，细胞中的水分就会因为渗透压低而向血液渗透，就会造成细胞脱水，给生命带来危险。因此，当人体发高烧时，需要及时喝水或通过静脉注射与细胞液渗透压相等的生理盐水和葡萄糖溶液以补充水分。植物也一样，当在它的根部一次性施用化肥过多或施肥后土壤水分不足时，植株会萎蔫，甚至枯死，即“烧苗”。为什么会有“烧苗”现象发生呢？一般情况下，植物根毛细胞液的浓度总是大于土壤溶液的浓度，于是，土壤溶液里的水分就通过根毛的细胞壁、细胞膜、细胞质渗透到液泡里，随后逐步渗入到表皮以内的层层细胞，最后进入导管，由导管输送到茎、叶等其他器官。但如果一次施肥过多或过浓，就会造成土壤溶液的浓度大于根毛细胞液的浓度，结果使根毛细胞液中的水分渗透到土壤溶液中，这样，根毛细胞不但吸收不到水分，反而还要失去水分，从而使植物萎蔫，即俗话说的“烧苗”。

相关链接

荷兰物理学家范特荷夫（van't Hoff）于1886年综合前人实验得出：稀溶液的渗透压 π（kPa）与溶液的物质的量浓度 C_B（$mol \cdot L^{-1}$）、热力学温度 T（K）成正比，与溶质的本性无关。$\pi = C_B RT$，式中，R 是气体常数，为 $8.314 kPa \cdot L \cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$。对于稀溶液来说，物质的量浓度约等于质量摩尔浓度，故 $\pi = C_B RT \approx b_B RT$。



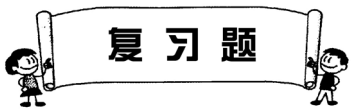
复习与提示

一、宏观质量与微观粒子之间的联系

$$\text{物质的质量（克）} \underset{\times\text{摩尔质量}}{\overset{\div(\quad)}{\rightleftharpoons}} \text{物质的量（摩尔）} \underset{\div 6.02\times10^{23}}{\overset{\times(\quad)}{\rightleftharpoons}} \text{微粒个数（个）}$$

二、质量百分比浓度与物质的量浓度

浓度 / 项目	质量百分浓度	物质的量浓度
公式表达	$A\% = \frac{m_{溶质}}{m_{溶液}} \times 100\%$	
相互转换	$A\% = \frac{C(\text{mol/L}) \times 1\text{L} \times M(\text{g/mol})}{1000\text{mL} \times \rho(\text{g/mL})}$	$C(\text{mol}) = \frac{1000\text{mL} \times \rho(\text{g/mL}) \times A\%}{1\text{L} \times M(\text{g/mL})}$
溶液稀释	溶质质量不变 $A_{浓}\% \times V_{浓} = A_{稀}\% \times V_{稀}$	



复 习 题

一、填空题

1. 物质的量是一个_____，其单位是_____ 。

2. H_2SO_4的摩尔质量是_____，现有 H_2SO_4 49g，其物质的量是_____ 。

3. 0.1mol/L Na_2SO_4溶液 500mL，含有_____个钠离子和_____个硫酸根离子。

4. 1mol NaCl 的质量是_____ ，将其配制成 250mL 的溶液，溶液的物质的量浓度是_____ 。

5. 1mol H_2SO_4 中含_____个硫原子、_____ 个氧原子、_____个氢原子。

6. 8.4g N_2与 9.6g 某单质 R，所含原子个数相同，并且分子数之比为 3∶2，则 R 的相对原子质量是_____。

7. 4.5g 水与_____ g 硫酸所含的分子数相等，它们所含氧原子数之比是_____，所含氢原子数之比是_____ 。

8. 填充下列表格。

物质	指定的微粒（个）	质量（m）（g）	物质的量（n）（mol）	摩尔质量（M）（g/mol）
氦气（He）			0.2	
S	1.204×10^{23}			
Na_2CO_3		0.53		
$C_{12}H_{22}O_{11}$			0.25	

9. 9.75g 锌与_____mol 的盐酸刚好完全反应，放出_____mol H_2，在溶液中有_____mol Zn^{2+} 离子和_____ mol Cl^- 离子，把反应后的溶液蒸干，可以得到 $ZnCl_2$_____mol。

10. 1L1mol·L^{-1}的蔗糖溶液中含有_____个蔗糖分。1L1mol·L^{-1}的 $CaCl_2$ 溶液中含 Cl^- 的物质的量为_____，含 Ca^{2+} 的物质的量为_____，含 Cl^- 数目为_____，Cl^- 的物质的量浓度为_____。

二、选择题

1. H_2O 的摩尔质量是（　　）。

A. 18g　　B. 18g/mol　　C. 18mol　　D. 18mol/L

2. 下列物质中，1mol 化合物的质量是 44g 的是（　　）。

A. CO　　B. CO_2　　C. N_2　　D. NO

3. 某二价金属的相对原子质量为 40，那么它的硫酸盐的摩尔质量是（　　）。

A. 96　　B. 96g/mol　　C. 136g　　D. 136g/mol

4. 下列物质中含原子数目最多的是（　　）。

A. 3.2g 氧气　　B. 1.8g 水　　C. 9.8g 硫酸　　D. 3.01×10^{22}个碳原子

5. 8g 氢氧化钠溶解于 1L 水中，其物质的量浓度是（　　）。

A. 0.1mol/L　　B. 0.2mol/L　　C. 0.02mol/L　　D. 无法确定

6. 摩尔是（　　）。

A. 物质的数量单位　　B. 表示物质的质量单位

C. 表示物质的量的单位　　D. 既是物质的数量单位又是物质的质量单位

7. 下列叙述中错误的是（　　）。

A. 1mol 任何物质都含有约 6.02×10^{23}个原子

B. 0.012kg ^{12}C 含有约 6.02×10^{23}个碳原子

C. 在使用摩尔表示物质的量的单位时，应该用化学式指明粒子的种类

D. 物质的量是国际单位制中七个基本物理量之一

8. 在下列关于阿伏加德罗常数的说法中，正确的是（　　）。

A. 阿伏加德罗常数是 12g 碳中所含的碳原子数

B. 阿伏加德罗常数是 0.012 kg ^{12}C 中所含的原子数

C. 阿伏加德罗常数是 $6.02\times10^{23}\ mol^{-1}$

D. 阿伏加德罗常数的符号为 N_A，近似值为 $6.02\times10^{23}\ mol^{-1}$

9. 0.5mol Na_2SO_4 中所含的 Na^+ 离子数为（　　）。

A. 3.01×10^{23}　　B. 6.02×10^{23}　　C. 0.5　　D. 1

10. 在下列关于 0.5mol/L $Ba(NO_3)_2$ 溶液的叙述中，不正确的是（　　）。

A. 1L 溶液中所含阴阳离子总数是 $1.5N_A$个

B. 1L 溶液中含 $0.5N_A$个 NO_3^-

C. 500mL 溶液中 Ba^{2+} 的浓度是 0.5mol/L

D. 500mL 溶液中含有 1 N_A个 NO_3^-

11. 100mL 98% 的浓硫酸（$\rho=1.84g\cdot mL^{-1}$）的物质的量浓度是（　　）。

A. $\frac{100\times1.84\times98\%}{98\times0.1}$mol/L　　B. $\frac{100\times1.84\times98\%}{98\times1}$mol/L

C. $\frac{100\times1.84\times98\%}{98}$　　D. $\frac{1.84\times98\%}{98\times100}$

12. 同物质的量浓度的 KCl、$CaCl_2$、$AlCl_3$三种溶液的体积比为 3∶2∶1，这三种溶液中 Cl^-浓度之比是（　　）。

A. 3∶2∶1　　B. 1∶2∶3　　C. 1∶1∶1　　D. 2∶3∶1

13. 同体积同物质的量浓度的两种溶液，其中相同的是（　　）。

A. 溶质的质量　B. 溶液的质量　　C. 溶质的物质的量　D. 溶液的物质的量

14. 体积为 V、密度为 ρ 的溶液，含相对分子质量为 M_r 的溶质质量为 m，其物质的量浓度为 C，溶质的质量分数为 $W\%$. 下列关系式中正确的是（　　）。

A. $C=\frac{W\rho}{M_r}$　　B. $m=V\rho\frac{W}{100}$　　C. $W\%=\frac{cM_r}{1000\rho}\%$　　D. $C=\frac{100m}{VM_r}$

15. 鱼类在温度偏高的水中难以生存，其原因是（　　）。

A. 在温度偏高的水中，鱼类的新陈代谢速率缓慢

B. 较高温度下，鱼类耗氧量提高，而 O_2在水中的溶解度反而下降

C. 温度高时，一些有毒物质易在鱼体内富集

D. 温度高时，渗透压变小

三、判断题

1. 物质的量的单位是摩尔。（　　）

2. 1mol 氧气和 1mol 水所含氧原子个数一样多。（　　）

3. 氢氧化钠的摩尔质量是 40。（　　）

4. 化学反应方程式中反应物与生成物的系数比也是物质的量之比。（　　）

5. 3mol O_2和 2mol O_3的摩尔质量相同。（　　）

四、简答题

1. 如何配制物质的量浓度的溶液？

2. 人在发高烧时为何要及时补充水分？

五、计算题

1. 有一块锌片插入足量 $CuSO_4$溶液中，锌片质量减轻了 0.1g，求：

（1）参加反应的锌的物质的量。

（2）析出铜的物质的量。

（3）生成 $ZnSO_4$的物质的量及质量。

（4）溶液的质量是增加，还是减少了？

2. 计算 37% 的盐酸，密度为 1.19g/mL 相当于多少物质的量浓度的盐酸？配制 1L0.5mol/L 的盐酸溶液，需用此盐酸多少毫升？

第三章　与土壤有关的化学知识

本章学习要点

- 了解化学反应速率的概念及表示方法。
- 理解浓度、压强、温度和催化剂对化学反应速率的影响。
- 了解吸热反应和放热反应、可逆反应和化学平衡。
- 理解影响化学平衡移动的因素。
- 了解强电解质、弱电解质，以及弱电解质的解离平衡。
- 理解水的离子积和用 pH 表示溶液酸碱度的方法。
- 理解离子反应及其发生的条件。
- 了解离子方程式的书写方法。
- 掌握盐类水解的实质及其水溶液酸碱性的判断。
- 理解影响盐水解的因素。

课堂活动

农业生产离不开土壤这个载体，不同的土壤适合种植不同的农作物。土壤中哪些因素决定着农作物的生产呢？

土壤主要是由矿物质、有机质、微生物、水分及孔隙中的空气组成的，正是土壤中这些物质的化学性质及化学反应决定着土壤的性质，从而影响农作物生产。下面介绍与土壤有关的一些化学知识。

第一节　化学反应速率和化学平衡

我们研究化学反应时，除了关心有哪种物质生成外，还关心另外两个问题：

（1）反应进行得快慢，也就是化学反应速率。

（2）反应完成的程度，即有多少反应物可以转化为生成物，也就是化学平衡问题。

在日常生活和化工生成中，我们常常希望反应可以进行得快一些，完全一些，例如氨的合成、接触法制硫酸等；而对某些不利的反应，例如金属的锈蚀、橡胶制品的老化、食物的腐败等，则尽可能地使它们进行得慢一些。这就必须研究化学反应速率和化学平衡的规律性，以便选择适当的条件来控制反应。

一、化学反应速率

（一）化学反应速率的表示方法

在化学反应中，随着反应的进行，反应物浓度在不断减小，生成物的浓度在不断增大。通常，我们用单位时间内反应物浓度的减少或生成物浓度的增加来表示化学反应速率，其表达式如下：

$$v = \Delta c / \Delta t$$

式中，v——化学反应速率，单位为 mol/(L·min)、mol/(L·s)、mol/(L·h)。

Δc——浓度变化，常用单位为 mol/L。

Δt——时间，单位为 s、min、h。

例如，反应 $N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$ 在密闭容器中进行，开始时，N_2 的浓度是 2mol/L，H_2 的浓度是 6mol/L，经过 10s 后，N_2 的浓度为 1.8mol/L，H_2 的浓度为 5.4mol/L，生成 NH_3 的浓度为 0.4mol/L。该反应的化学反应速率可用如下方法进行表示。

用反应物 N_2 来表示：

$$v(N_2) = -\Delta c(N_2)/\Delta t = -\frac{2\text{mol/L} - 1.8\text{mol/L}}{10\text{s}} = 0.02\text{mol/(L·s)}$$

因为在这里是用反应物浓度的减少来表示化学反应速率，所以式前要加负号。

用反应物 H_2 来表示：

$$v(H_2) = -\Delta c(H_2)/\Delta t = -\frac{6\text{mol/L} - 5.4\text{mol/L}}{10\text{s}} = 0.06\text{mol/(L·s)}$$

用生成物 NH_3 来表示：

$$v(NH_3) = \Delta c(NH_3)/\Delta t = \frac{0.4\text{mol/L}}{10\text{s}} = 0.04\text{mol/(L·s)}$$

由此可见，在同一化学反应中用不同的物质的浓度变化来表示反应速率时，其数值是不等的，各物质化学反应速率之比等于化学计量数之比，也等于各物质转化浓度之比。例如，化学反应：

$$mA(g) + nB(g) \rightleftharpoons pC(g) + qD(g)$$

$$v(A) : v(B) : v(C) : v(D) = m : n : p : q$$

应当指出的是：公式 $v = \Delta c/\Delta t$ 求出的化学反应速率指的是在某一时间段内的平均反应速率，而不是某时刻的瞬时速率。但是，当 Δt 无限的趋近于零时，v 就是瞬时反应速率了。此外，由于纯固体、纯液体的浓度视为定值（一般视为 1），所以该表达式只适用于有气态物质参加或溶液中的反应。例如，反应 $CaCO_3(s) \rightleftharpoons CaO(s) + CO_2(g)$，在反应中，由于 $CaCO_3$、CaO 都是固体，随着反应的进行，它们的质量发生了改变，但浓度没有改变，因此只能用气体 CO_2 来表示化学反应速率，即 $v(CO_2) = \Delta c(CO_2)/\Delta t$。

（二）影响化学反应速率的因素

影响化学反应速率的条件有内因和外因：内因是反应物自身的性质；在这里我们主要研究外界条件对化学反应速率的影响，其中主要有浓度、压强、温度、催化剂等的影响。

1. 浓度对反应速率的影响

实践活动

［实验］：在一定温度下，在两杯浓度分别为 0.01mol/L 和 0.1mol/L 的 $Na_2S_2O_3$ 溶液中同时加入同体积、同浓度的稀硫酸，实验装置如图 3-1 所示。发生如下反应：$Na_2S_2O_3 + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + S\downarrow + SO_2\uparrow + H_2O$，观察出现黄色混浊的快慢。结果 $Na_2S_2O_3$ 浓度为 0.1mol/L 的那杯溶液中首先出现黄色混浊物。

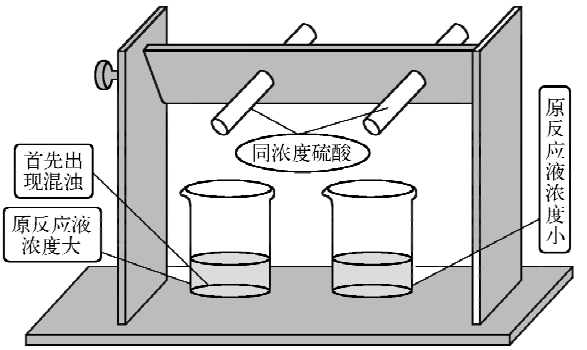


图 3-1　浓度对反应速率的影响

实验事实证明，在一定温度下，增大反应物的浓度可以加快反应速率；减小反应物的浓度会减慢反应速率。

2. 压强对反应速率的影响

判断压强是否会对反应速率造成影响，关键是看改变压强是否会改变相关物质的浓度。若因改变体系压强而造成相关物质的浓度发生变化，则反应速率势必会发生变化。对于有气体参加的反应体系，压强的改变实质是气体物质浓度的改变。例如，对于同一个有气体参加的反应体系，在保持容积不变的条件下做对比实验：若充入气体反应物，相关物质的浓度势必会增大，则反应速率势必会加快；若充入稀有气体，虽然体系的总压会增大，但体系内各物质浓度是不变的，因而反应速率不会改变。

3. 温度对反应速率的影响

温度对化学反应速率的影响特别显著。一般来说，升高温度会使化学反应速率增大。这是由于温度升高，分子运动加快，反应物分子间的碰撞频率增大，并且温度升高，能够参加反应的分子增多。荷兰化学家范特霍夫（van't Hoff）总结出：温度每升高 10K，化学反应速率一般增加 2 ~4 倍。

相关链接

图 3-2 是荷兰化学家雅可比·亨利克·范特霍夫（Jacobus Hendricus Van't Hoff），1852 年 8 月 30 日生于荷兰。因为在化学动力学和化学热力学研究上的贡献，获得 1901 年的诺贝尔化学奖，成为第一位获得诺贝尔化学奖的科学家。这位一生痴迷实验的化学巨匠，不仅在化学反应速率、化学平衡和渗透压方面取得了骄人的研究成果，而且开创了以有机化合物为研究对象的立体化学。1911 年 3 月 1 日，年仅 59 岁的范特霍夫由于长期超负荷工作，不幸逝世。一颗科学巨星陨落了，化学界为之震惊。为了永远纪念他，范特霍夫的遗体火化后，人们将他的骨灰安放在柏林达莱姆公墓，供后人瞻仰。



图 3-2　雅可比·亨利克·范特霍夫

课堂讨论

图 3-3 表示 Mg 与某稀盐酸的反应速率与时间的关系曲线，试解释出现上述曲线的原因。

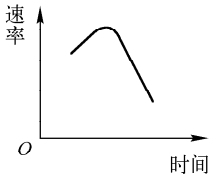


图 3-3　Mg 与某稀盐酸的反应速率与时间的关系曲线

4. 催化剂对反应速率的影响

催化剂是一种能改变化学反应速度而自身的组成和质量在反应前后不发生任何变化的物质。催化剂对化学反应速度的影响叫催化作用。能加快反应速度的催化剂叫正催化剂，使反应速度减慢的催化剂叫阻化剂，又叫负催化剂。催化剂的作用主要是改变了反应的历程，降低了反应的活化能，从而使反应速度增大

需要注意的是，催化剂只能改变化学反应速率，但不能使本不可能发生的反应成为可能；在化学反应中，若没有特别说明，催化剂均指正催化剂。

课堂讨论

请你列举生活中的实例，说明除了温度、浓度、压强、催化剂四种因素外，固体反应物颗粒的大小、扩散速度、各种光线、超声波、溶剂、搅拌等对化学反应速率都有影响。

二、化学平衡

人们在研究物质的化学反应时，不仅会注意反应的快慢，而且十分关注化学反应进行的程度，即有多少反应物可以转化为生成物，这就是化学平衡问题。

（一）可逆反应与不可逆反应

化学反应根据其反应程度的大小不同，分为可逆反应和不可逆反应（完全反应）两类。多数的化学反应属于可逆反应。

化学反应只朝一个方向进行而无逆反应发生的反应称为不可逆反应，以“→”表示反应方向。

例如，在室温下，氢气燃烧成水蒸气，而生成的水蒸气无法在室温下分解产生氢气及氧气，属于不可逆反应。反应式为：

$$2H_2(g) + O_2(g) \rightarrow H_2O(g)$$

在化学反应中，正逆反应同时进行，不但反应物相互反应为生成物，同时生成物也能相互反应为原来反应物的反应称为可逆反应，以“⇌”表示可逆反应。

例如，在如图 3-4 所示的密闭容器中，无色的 N_2O_4 会分解为红棕色的 NO_2，在反应的同时，NO_2 也会相互结合为 N_2O_4。该反应属于可逆反应。反应式为：

$$N_2O_4(g) \rightleftharpoons 2NO_2(g)$$

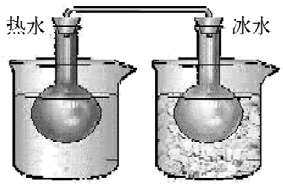


图 3-4　NO_2 与 N_2O_4 的相互转化

（二）化学平衡

在一定条件下的可逆反应里，正反应和逆反应速率相等，反应混合物中各组分的浓度保持不变的状态，称为化学平衡。图 3-5 表示化学反应达到平衡状态时，正反应和逆反应速率的变化。例如，

反应 $$aA + bB \rightleftharpoons cC + dD$$

（1）最初只有反应物（A 与 B），无生成物（C 与 D），故正反应速率很大，逆反应速率为零。

（2）随着反应进行，反应物消耗（[A]、[B]会降低），生成物产生（[C]、[D]会增加），因此正反应速率会逐渐降低，逆反应速率会逐渐增加。

（3）直至某一时间 t，正反应速率 = 逆反应速率，反应达到化学平衡。

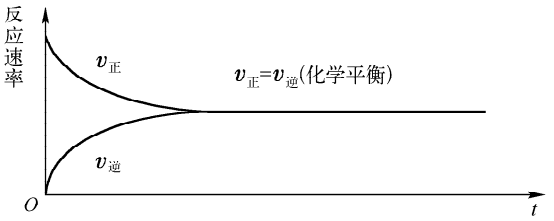


图 3-5　正反应、逆反应速率的变化

一个化学反应要想达到化学平衡状态就必须满足下面的几个条件，缺一不可。首先，反应本身必须是可逆反应；其次，温度要均一，温度不同，平衡状态不同；最后，反应要处于密闭系统中。所谓密闭系统是指与外界无质量交换，但有能量交换的系统。

我们见到的可逆反应很多，在一定的条件下均能达到化学平衡状态，根据化学反应本质的不同，化学平衡可以分为以下几种。

（1）化学平衡：例如，$N_2 + 3H_2 \rightleftharpoons 2NH_3$。

（2）电离平衡：例如，$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$。

（3）水解平衡：例如，$Fe^{3+} + 3H_2O \rightleftharpoons Fe(OH)_3 + 3H^+$。

（4）溶解平衡：例如，$AgCl(s) \rightleftharpoons Ag^+ + Cl^-$。

（5）配位平衡：例如，$[Ag(NH_3)_2]^+ \rightleftharpoons Ag^+ + 2NH_3$。

对于任何一个可逆反应，当正反应和逆反应速率相等时，反应达到化学平衡状态，并且具有以下的特点。

（1）“动”：达到平衡后，正逆反应仍在进行（$v_{正} = v_{逆} \neq 0$）。

（2）“等”：$v_{正} = v_{逆}$，即达到平衡时，某一成分的生成速率等于消耗速率（不同的平衡状态对应着不同的反应速率）。

（3）“定”：达到化学平衡时，反应混合物或平衡混合物中各组分含量不变（如分子数、质量、体积、百分含量等）。

（4）“变”：可逆反应的平衡状态是相对的、暂时的，当影响化学平衡的条件发生改变时，$v_{正} \neq v_{逆}$，平衡发生移动，并会在新的条件下逐步建立新的化学平衡。

（5）“同”：在相同条件下，同一个可逆反应可以由不同途径（不同的起始量）达到同一个平衡状态（等效平衡）。

（三）放热反应与吸热反应

吸收热量的化学反应叫做吸热反应。吸热反应则常表现为反应体系温度的降低，或者必须持续供给必要的热量反应才能持续进行。例如，氯酸钾的分解反应是吸热反应，在 MnO_2 催化的条件下要不断加热，反应才能完成。吸热反应反应物的总能量低于生成物的总能量。

有热量放出的化学反应叫做放热反应。放热反应往往可表现为反应体系温度的升高，例如燃料的燃烧、食物的腐败等。放热反应的发生，有时也需加热，很多燃料需点燃方能燃烧。一旦发生反应，放出的热量足以维持反应必要的温度而有余，就不需外界持续提供能量了。放热反应反应物的总能量大于生成物的总能量。

（四）化学平衡的移动

化学平衡是相对的、暂时的、有条件的，当影响化学平衡的外界条件改变时，原来的化学平衡被破坏，建立了新化学平衡的过程叫做化学平衡的移动。

影响化学平衡移动的动力就是正、逆反应速率不相等，即 $v_{正} \neq v_{逆}$。

（1）$v_{正} > v_{逆}$，平衡向正反应方向移动。

（2）$v_{正} < v_{逆}$，平衡向逆反应方向移动。

（3）$v_{正} = v_{逆}$，平衡不移动。

影响化学平衡的主要因素有浓度、压力和温度。

1. 浓度

实践活动

在一个小烧杯里混合 10mL 0.01mol/L $FeCl_3$ 溶液和 10mL 0.01mol/L KSCN（硫氰化钾）溶液，溶液立即变成红色。如图 3-6 所示，把该红色溶液平分到 3 个试管中。在第一个试管中加入少量 1mol/L $FeCl_3$ 溶液，在第二个试管中加入少量 1mol/L KSCN 溶液。观察这两个试管中溶液颜色的变化，并与第三个试管中溶液的颜色相比较。

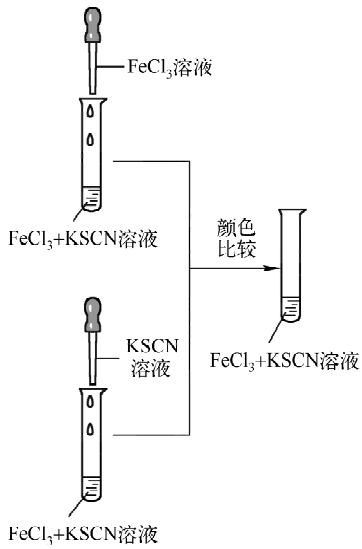


图 3-6　浓度对化学平衡的影响

$FeCl_3$ 与 KSCN 起反应，生成红色的 $Fe(SCN)_3$ 硫氰化铁）和 KCl，这个反应可表示如下：

$$FeCl_3 + 3KSCN \rightleftharpoons Fe(SCN)_3 + 3KCl$$

从上面的实验可知，在平衡混合物里，当加入 $FeCl_3$ 溶液或 KSCN 溶液后，试管中溶液的颜色都变深了。这说明增大任何一种反应物的浓度都促使化学平衡向正反应的方向移动，生成更多的 $Fe(SCN)_3$。

其他实验也可证明，在达到平衡的反应里，减小任何一种生成物的浓度，平衡会向正反应的方向移动；减小任何一种反应物的浓度，平衡会向逆反应的方向移动。

综上所述，在其他条件不变的情况下，增大反应物的浓度或减小生成物的浓度，都可以使化学平衡向正反应的方向移动；增大生成物的浓度或减小反应物的浓度，都可以使化学平衡向逆反应的方向移动。

在生产上，往往采用增大容易取得的或成本较低的反应物浓度的方法，使成本较高的原料得到充分利用。例如，在硫酸工业里，常用过量的空气使 SO_2 充分氧化，以生成更多的 SO_3。

需要注意的是，改变物质浓度不包括固体和纯液体，即固体或纯液体物质的量的增加和减少，不影响浓度，从而不影响化学反应速率，也不影响化学平衡。

2. 压强

处于平衡状态的反应混合物里，不管是反应物还是生成物，只要有气态物质存在，那么改变压强也常常会使化学平衡移动。

可以用下列反应来说明压强对化学平衡的影响。

$$\underset{(2\text{ 体积,红棕色})}{2NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{(1\text{ 体积,无色})}{N_2O_4(g)}$$

实践活动

用注射器吸入少量 NO_2 和 N_2O_4 的混合气体，然后将注射器针头插入橡皮塞中以封口，如图 3-7 所示。将注射器活塞反复往里推和往外拉，观察压强变化对化学平衡的影响。

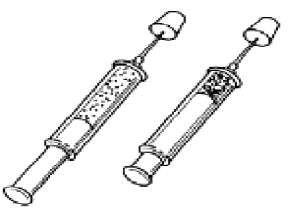


图 3-7　压强对化学平衡的影响

当活塞往外拉时，混合气体的颜色先变浅后逐渐变深。应怎样理解呢？这必然是由于针筒内体积增大，使气体的压强减小，浓度也减小，颜色变浅。后来颜色逐渐变深，这必然是由于化学平衡向着生成 NO_2 反应的方向即气体体积增大的方向（每 1 体积 N_2O_4 分解生成 2 体积 NO_2）移动了。当活塞往里推时，混合气体的颜色先变深后逐渐变浅。这必然是由于针筒内体积减小，气体的压强增大，浓度也增大，颜色变深。由于化学平衡向着生成 N_2O_4 的方向即气体体积缩小的方向移动，因此混合气体的颜色又逐渐变浅了。

上述实验证明，在其他条件不变的情况下，增大压强，会使化学平衡向着气体体积缩小的方向移动；减小压强，会使化学平衡向着气体体积增大的方向移动。

在有些可逆反应里，反应前后气态物质的总体积没有变化，例如：

$$\underset{(2\text{ 体积})}{2HI(g)} \rightleftharpoons \underset{(1\text{ 体积})}{H_2(g)} + \underset{(1\text{ 体积})}{I_2(g)}$$

在这种情况下，增大或减小压强都不能使化学平衡移动。

固态物质或液态物质的体积，受压强的影响很小，可以忽略不计。因此，如果平衡混合物都是固体或液体，改变压强不能使化学平衡移动。

在利用压强的改变使化学平衡发生移动时，需要注意以下的事项：

（1）若反应前后，气体体积无变化，改变气体的压强，能同时改变正、逆反应速率，保持 $v_{正}=v_{逆}$，化学平衡不会发生移动。

（2）压强的改变是指平衡混合物体积变化而引起的总压变化，若平衡混合物的体积不变，而加入稀有气体，虽然总压变化了，但平衡混合物的浓度仍不变，速率不变，平衡不移动。

（3）若加入稀有气体，保持总压不变，此时只有增大体系体积，这就相当于降低了平衡体系的压强，平衡向气体体积增大的方向移动。

3. 温度

在吸热或放热的可逆反应里，反应混合物达到平衡状态以后，改变温度也会使化学平衡移动。

实践活动

把 NO_2 和 N_2O_4 的混合气体盛在两个连通的烧瓶里，然后用夹子夹住橡皮管，把一个烧瓶放进热水里，把另一个烧瓶放进冰水（或冷水）里，如图 3-8 所示。观察混合气体的颜色变化，并与常温时盛有相同混合气体的烧瓶中的颜色进行对比。

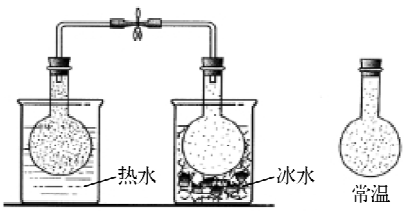


图 3-8　温度对化学平衡的影响

在 NO_2 生成 N_2O_4 的反应里，正反应是放热反应，逆反应是吸热反应。

$$\underset{\text{（红棕色）}}{2NO_2(g)} \rightleftharpoons \underset{\text{（无色）}}{N_2O_4(g)} \quad \text{（正反应为放热反应）}$$

从上面的实验可知，混合气体受热颜色变深，说明 NO_2 浓度增大，即平衡向逆反应方向移动。混合气体被冷却时颜色变浅，说明 NO_2 的浓度减小，即平衡向正反应方向移动。

由此可见，在其他条件不变的情况下，温度升高，会使化学平衡向着吸热反应的方向移动；温度降低，会使化学平衡向着放热反应的方向移动。

4. 催化剂

催化剂对正、逆反应速率改变的程度相同，所以对化学平衡无影响，但可大大缩短化学反应达到平衡所需的时间。

实践活动

反应物浓度对反应速率的影响

将 8g 硫代硫酸钠溶解在 200mL 蒸馏水中配制成溶液。如图 3-9 所示，取 50mL 配好的硫代硫酸钠溶液倒入 100mL 烧杯中，将烧杯放在画有黑色十字的纸上，向烧杯中加入 5mL 2mol/L 的盐酸，立即开始计时，边搅拌边从溶液上方观察溶液的浊度，透过浑浊的硫，当看不见黑色十字时，记录时间 t_1 = _____。

分别将 30mL、20mL、10mL 配制好的硫代硫酸钠溶液用蒸馏水稀释至 50mL，保持盐酸浓度不变，重复以上操作，记录时间 t_2 = _____，t_3 = _____，t_4 = _____。

随着硫代硫酸钠溶液稀释程度的加大，看不到黑色十字的时间变长，这表明反应物的浓度越_____，反应所需时间越_____，即反应速率越_____。

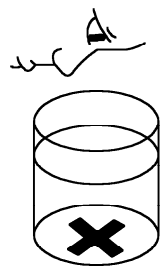


图 3-9　浓度对反应速率的影响

实验内容	所需试剂	所需仪器
3-1　反应物浓度对反应速率的影响	硫代硫酸钠、2mol/L 的盐酸、蒸馏水	台秤、烧杯、玻璃棒、量筒、秒表



浓度对化学平衡的影响

（1）在一个 250mL 的烧杯里，先加入 100mL 蒸馏水，然后加入 10mL 0.01mol/L 的三氯化铁溶液和 10mL 0.01mol/L 的硫氰化钾溶液，溶液立即变成_____色。

（2）把溶液平分到三支试管里，在第一支试管里滴加少量 1mol/L 三氯化铁溶液，在第二支试管里滴加少量 1mol/L 硫氰化钾溶液。振荡后，观察这两支试管里溶液颜色变为_____色，并与第三支试管相比较。说明_____任何一种反应物的浓度，都会使化学平衡向_____方向移动。

实验内容	所需试剂	所需仪器
3-2　浓度对化学平衡的影响	0.01mol/L 和 1mol/L 三氯化铁溶液、0.01mol/L 和 1mol/L 硫氰化钾溶液、蒸馏水	烧杯、量筒、试管



勒沙特列原理

图 3-10 是法国化学家勒沙特列（Henry L. Le Chatelier，1850—1936），曾就读于巴黎洛兰学院、埃克勒工学院、矿业学院，在冶金、玻璃、水泥，燃料等方面有许多贡献。



图 3-10　勒沙特列（Henry L. Le Chatelier）

1854 年，他提出了著名的勒沙特列原理，即化学平衡移动原理：对于处于平衡状态的体系，如果改变影响平衡的一个条件（如浓度、压强、温度），平衡就向能够减弱这种改变的方向移动。根据这一原理可以预测各种条件变化对于化学平衡的影响。在化学实验，尤其是在化学工程中，为寻求最佳条件提供了理论基础。他还发明了铂铑温差热电偶和光学高温计，研制了氧－乙炔切割器。他曾任工程师，也曾任矿业学院、巴黎大学教授，在第一次世界大战期间任法国武装部长。

第二节　弱电解质的解离平衡

溶液对我们来说并不陌生，在小学的自然课、初中的化学课都学习过溶液。在农业生产上，农药和化肥常常是配制成不同浓度的溶液再加以施用。动、植物所摄取的养料也常常是形成溶液后才能被吸收的。溶液在生命现象、工农业生产以及日常生活中，都具有十分重要的意义。因此，我们有必要进一步复习和学习有关溶液的一些知识。

实践活动

按照图 3-11 把仪器连接好，然后把相同条件下的盐酸、醋酸、NaOH 溶液、NaCl 溶液和氨水分别倒入五个烧杯中，接通电源。观察灯泡发光的明亮程度。

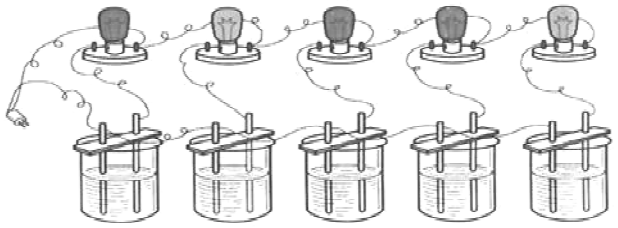


图 3-11　不同电解质导电能力比较

实验结果表明：连接插入醋酸溶液和氨水的电极上的灯泡比其他三个较暗。可见，它们在同样条件下的导电能力是不相同的。HCl、NaOH 和 NaCl 溶液的导电能力最强，CH_3COOH 溶液和氨水较弱。

在化学上，根据化合物在水溶液中或在熔融状态下能否导电，通常将化合物分为电解质和非电解质两类。下面介绍电解质及相关内容。

一、电解质

在水溶液中或熔化状态下能够导电的化合物称为电解质（否则，就是非电解质）。

在水溶液中或在熔化状态下，电解质能够电离出阴、阳离子，而这些离子能在外加电场的作用下定向发生移动，并形成电流，从而能够导电。

课堂讨论

指出下列哪些物质是电解质？哪些是非电解质？说出你的依据。

硫酸、蔗糖、盐酸、氯气、氨水、二氧化碳、氯化氢气体、金属铁、氯化钠溶液、酒精、蛋白质。

二、强电解质与弱电解质

通过上面的实验，我们不难看出电解质溶液虽然都能够导电，但是，在相同的条件下，电解质的导电能力是有区别的。

事实上，电解质的导电能力取决于电解质在水溶液中解离的程度。因此，根据电解质在水溶液中发生解离的程度，通常把电解质分为强电解质和弱电解质两类。

（一）强电解质

在水溶液中或熔化状态下全部解离成阴阳离子的电解质称为强电解质。常见的强电解质为大多数的盐（包括可溶性盐和难溶性盐）、强酸和强碱，例如 KOH、$BaSO_4$、HCl 等。

强电解质发生解离后，在水溶液中全部以水合离子状态存在，没有电解质分子，导电性很强。解离方程式用“ = ”表示。例如：

$$NaCl = Na^+ + Cl^-$$

$$HCl = H^+ + Cl^-$$



大多数盐是强电解质，因为它们溶于水全部解离成阴阳离子。为什么难溶盐也是强电解质？

（二）弱电解质

在水溶液中或熔化状态下只有部分解离成离子的电解质称为弱电解质。常见的弱电解质为弱酸、弱碱和水，例如 CH_3COOH、$NH_3 \cdot H_2O$、H_2O 等。

弱电解质发生解离后，在水溶液中既有离子存在，又有弱电解质分子存在，导电能力相对较弱。解离方程式用“$\rightleftharpoons$”表示。例如：

$$NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

三、弱电解质的解离平衡

弱电解质在水溶液中只有部分分子发生解离，解离成阴阳离子，而这些离子又会互相吸引，一部分重新结合成分子，因而解离过程是可逆的，必然会在溶液中建立一个动态的解离平衡。例如：

$$HAc \rightleftharpoons H^+ + Ac^-$$

在一定的条件下，不同的弱电解质在水溶液中的解离程度也不一样。在平衡状态下，弱电解质在水溶液中的解离程度的大小可以定量地用解离度来表示。

（一）解离度

解离度是指在一定温度下弱电解质达到解离平衡时，已发生解离的分子数占原有的弱电解质分子总数的百分率，用符号 α 表示。

$$\alpha = \frac{\text{已解离的电解质分子数}}{\text{溶液中原有电解质的分子总数}} \times 100\%$$

在实际计算中常用浓度代替分子数，这是因为任何物质的分子数都等于 $n \cdot N_A$，而 $n = cV$，对于在同一溶液中的物质而言，体积是一样的，N_A 又是常数，所以在上面的公式中，分子数可以用相应的浓度来代替，即

$$\alpha = \frac{\text{已解离的电解质的浓度}}{\text{溶液中电解质的起始浓度}} \times 100\%$$

例如 在 298.15K 时，0.1mol·L^{-1}的 HAc 溶液中，每 1000 个乙酸分子里大约有 13 个分子解离成 H^+和 Ac^-离子，所以 HAc 的解离度是 1.3%。

解离度的大小，主要取决于电解质的本性，同时又与溶液的浓度、温度等因素有关。同一弱电解质，通常是溶液越稀，离子互相碰撞而结合成分子的机会越少，解离度就越大。例如，在 298.15K 时，0.1mol·L^{-1} HAc 的解离度为 1.3%，0.01mol·L^{-1}的 HAc 的解离度为 4.2%。温度对解离度也有一定影响，但在常温范围内影响不大。



弱电解质的解离度能否达到 100%？

（二）解离常数

在一定温度下，弱电解质在水溶液中达到解离平衡时，解离所生成的各种离子浓度的乘积与溶液中未解离的分子的浓度之比是一个常数，称为解离平衡常数，简称解离常数，用 K_i 表示。弱酸的解离常数用 K_a 表示，弱碱的解离常数用 K_b 表示。以乙酸（HAc）和氨水（$NH_3 \cdot H_2O$）为例，分别讨论一元弱酸和一元弱碱在水溶液中的解离平衡常数。

1. HAc 的解离平衡

HAc 是弱酸，解离方程式为：

$$HAc \rightleftharpoons H^+ + Ac^-$$

HAc 解离出 H^+ 和 Ac^-，在同样的反应条件下，H^+ 和 Ac^- 重新结合生成 HAc，根据化学平衡常数的定义，可以得到：

$$K_a = \frac{C_{H^+} \cdot C_{Ac^-}}{C_{HAc}}$$

K_a 为 HAc 的解离平衡常数，与酸的浓度无关，仅取决于酸的本性和体系的温度；K_a 的大小反映了弱酸解离程度的强弱，K_a 越小，酸性越弱，反之亦然。例如，在 25℃时，醋酸的 K_a 是 1.8×10^{-5}，氢氰酸的 K_a 是 6.2×10^{-10}，说明醋酸的酸性比氢氰酸强。

2. $NH_3 \cdot H_2O$ 的解离平衡

$NH_3 \cdot H_2O$ 是弱碱，解离方程式为：

$$NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

$NH_3 \cdot H_2O$ 解离出 NH_4^+ 和 OH^-，在同样的反应条件下，NH_4^+ 和 OH^- 重新结合生成 $NH_3 \cdot H_2O$。

根据化学平衡常数的定义，可以得到：

$$K_b = \frac{C_{NH_4^+} \cdot C_{OH^-}}{C_{NH_3 \cdot H_2O}}$$

同样，K_b 为的电 $NH_3 \cdot H_2O$ 离平衡常数，与碱的浓度无关，仅取决于碱的本性和体系的温度；K_b 的大小反映了弱碱解离程度的强弱，K_b 越小，碱性越弱，反之亦然。表 3-1 列出了几种常见弱酸和弱碱在水中的解离平衡常数。

表 3-1　几种常见弱酸和弱碱在水中的解离平衡常数（25℃）

电解质	分子式	解离常数	电解质	分子式	解离常数
碳酸	H_2CO_3	$K_{a_1} = 4.2 \times 10^{-7}$ $K_{a_2} = 5.6 \times 10^{-11}$	氢硫酸	H_2S	$Ka_1 = 1.3 \times 10^{-7}$ $K_{a_2} = 7.1 \times 10^{-15}$
氢氰酸	HCN	$K_a = 6.2 \times 10^{-10}$	氢氟酸	HF	$K_a = 6.6 \times 10^{-4}$
醋酸	HAc	$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$	氨水	$NH_3 \cdot H_2O$	$K_a = 1.8 \times 10^{-5}$
磷酸	H_3PO_4	$K_{a1} = 7.6 \times 10^{-3}$ $K_{a_2} = 6.3 \times 10^{-8}$ $K_{a_3} = 4.4 \times 10^{-13}$	亚硫酸	H_2SO_3	$K_{a_1} = 1.3 \times 10^{-2}$ $K_{a_2} = 6.3 \times 10^{-8}$
			亚硝酸	HNO_2	$K_a = 5.1 \times 10^{-4}$

第三节　水的离子积和溶液的 pH

实践活动

用灵敏电流计测定纯水的导电性。观察灵敏电流计指针是否有微弱的偏转。

一、水的离子积

实验证明，纯水是一种极弱的电解质，它能够发生十分微弱的解离，如图 3-12 所示：

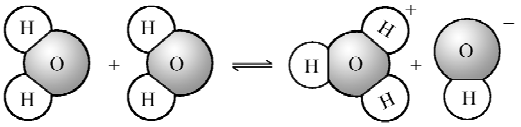


图 3-12　水的解离

解离方程式可表示为：

$$H_2O + H_2O \rightleftharpoons H_3O^+ + OH^-$$

可简写成：

$$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$$

在一定温度下，当水达到解离平衡时，水的解离平衡常数等于，

$$K_C = \frac{C_{H^+} \cdot C_{OH^-}}{C_{H_2O}}$$

由于在水中，水的浓度视为 1，所以水中 H^+ 的浓度与 OH^- 的浓度的乘积是一个常数，即 $C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = K_w$。$K_w$ 称为水的离子积常数，简称水的离子积。

K_w 仅仅由温度决定，在不同的温度下，K_w 不一样。在常温时，无论是在中性、酸性还是碱性的水溶液里，都有 $C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$。

因此，在常温下，有以下规律：

$C_{H^+} > C_{OH^-}$ 或 $C_{H^+} > 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L　溶液呈酸性

$C_{H^+} < C_{OH^-}$ 或 $C_{H^+} < 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L　溶液呈碱性

$C_{H^+} = C_{OH^-}$ 或 $C_{H^+} = 1.0 \times 10^{-7}$ mol/L　溶液呈中性

课堂讨论

在酸性溶液中是否存在 OH^-？在碱性溶液中是否存在 H^+？

二、溶液的 pH

（一）pH

C_{H^+} 虽然可以表示溶液的酸碱性，但我们经常要用到一些 H^+ 浓度非常小的溶液，若直接用 H^+ 浓度来表示溶液的酸碱性就很不方便。因此，在化学上常用 pH 来表示溶液的酸碱性，pH 等于 H^+ 浓度的负对数，即

$$pH = -\lg C_{H^+}$$

因此，pH < 7，溶液呈酸性；pH = 7，溶液呈中性；pH > 7，溶液呈碱性。pH 值越低，溶液的酸性越强。

与 pH 类似，C_{OH^-}、K_w 的负对数也可以分别用 pOH 和 pK_w 来表示，由于在常温时，对于任何水溶液都有 $C_{H^+} \cdot C_{OH^-} = K_w = 1.0 \times 10^{-14}$，现对式子两边分别负对数，得到 $pK_w = pH + pOH = 14.00$，即在常温下，对任意一个水溶液，pH + pOH = 14.00。

课堂讨论

我们身边吃的、用的物质有很多，哪些是酸性的？哪些是碱性的？

相关链接

pH 试纸

溶液有酸碱之分，检验溶液酸碱性的“尺子”是“广泛 pH 试纸”。这是一种现成的试纸，pH 试纸用来测定 pH 值为 1～14 的溶液。

试纸的使用方法如下。

（1）检验溶液的酸碱度：取一小块试纸放在表面皿或玻璃片上，用沾有待测液的玻璃棒或胶头滴管点于试纸的中部，观察颜色的变化，与比色卡（如图 3-13 所示）对照，判断溶液的性质。

（2）检验气体的酸碱度：先用蒸馏水把试纸润湿，粘在玻璃棒的一端，用玻璃棒把试纸靠近气体，观察颜色的变化，判断气体的性质。

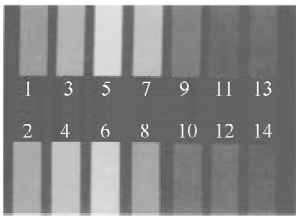


图 3-13　比色卡

（3）注意事项如下。

① 试纸不可直接伸入溶液。

② 试纸不可接触试管口、瓶口、导管口等。

③ 测定溶液的 pH 时，试纸不可事先用蒸馏水润湿，因为润湿试纸相当于稀释被检验的溶液，这会导致测量不准确。正确的方法是，用蘸有待测溶液的玻璃棒点滴在试纸的中部，待试纸变色后，再与标准比色卡比较来确定溶液的 pH。

④ 取出试纸后，应将盛放试纸的容器盖严，以免被实验室的一些气体沾污。

相关链接

土壤的酸碱性

我国土壤的 pH 一般变化范围为 4～9，多数为 4.5～8.5，极少低于 4 或高于 10。长江以北的土壤，多数为中性至碱性，长江以南的土壤多为酸性至强酸性，“南酸北碱”就概括了我国土壤酸碱反应的地区性差异。

土壤的酸碱性是土壤的重要性质，它对植物生长、微生物活动、养分的转化以及土壤肥力均有很大的影响。有的作物（如芝麻、油菜、萝卜等）可以生长在较大的 pH 范围内，有的却对土壤的 pH 反应非常敏感，如茶树适宜在 pH 约为 4.0～5.5 的土壤中生长；pH 大于 6，则生长不良；葡萄在酸性土常因缺镁而生长受阻，而板栗在碱性土往往因缺锰而不能正常生长。

课堂讨论

表 3-2 列出了一些农作物的最佳生长环境。请判断在一块碱性土壤里，最适宜种植的农作物是表中的哪一个？

表 3-2　一些农作物的最佳生长环境

农作物名称	茶	油菜	西瓜	甘草
生长的最佳 pH 值	4.5 ~ 5.5	5.8 ~ 6.7	6.0 ~ 7.0	7.2 ~ 8.5

实践活动

用 pH 试纸测定两种未知溶液的酸碱度

（1）用两支试管分别取_____少许。

（2）取_____两条放在玻璃片上。

（3）分别用_____蘸取未知样滴于 pH 试纸上。

（4）将试纸的显色部分的颜色与_____做颜色比较，并记录数据。未知样 A 的 pH = _____，未知样 B 的 pH = _____。

实验内容	所需试剂	所需仪器
3-3　利用 pH 试纸测定两种未知溶液的酸碱度	未知溶液 A、B，蒸馏水	试管、试管架、玻璃棒、烧杯、玻璃片、pH 试纸（附配套的标准比色卡）、吸水纸

在正常情况下，人体血液略显碱性，医生可以通过测血液 pH 的办法来帮助诊断病情。同样，在工业生产中反应溶液的酸碱性对化学反应能否发生及反应产物的判断也非常重要。如何定量计算溶液的 pH 呢？这就是我们下面要解决的问题。

（二）溶液的 pH 计算

1. 强酸溶液的 pH 计算

强酸溶液的 pH 计算方法是：首先，根据酸的浓度先求出强酸溶液中的 C_{H^+}；然后，对其取负对数就可求得 pH。

【例 3-1】　求 25℃时，0.005mol/L 的 H_2SO_4溶液的 pH。

【解】　0.005mol/L 的 H_2SO_4溶液中的 $C_{H^+} = 1 \times 10^{-2}$mol/L，故 pH = 2。

2. 强碱溶液

强碱溶液的 pH 计算方法是：首先，根据碱的浓度先求出强碱溶液中的 C_{OH^-}；然后，利用该温度下的 K_w求出 C_{H^+}，最后求出 pH。

【例 3-2】　求 25℃时，1×10^{-5}mol/L 的 NaOH 溶液的 pH。

【解】　10^{-5}mol/L 的 NaOH 溶液中 $C_{OH^-} = 1 \times 10^{-5}$mol/L，则

$C_{H^+} = K_W / C_{OH^-} = (1 \times 10^{-14}) / 1 \times 10^{-5}$mol/L $= 1 \times 10^{-9}$mol/L，故 pH = 9。

第四节　离子反应和盐类的水解

一、溶液中的离子反应

（一）离子反应

电解质在水溶液中全部或者部分地解离成离子，因此，电解质在溶液中的化学反应实际

上是离子间的反应。

凡是有离子参加的化学反应称为离子反应。离子反应的反应速率很快，相应离子间的反应不受其他离子的干扰。例如，在氢氧化钠溶液中滴加硫酸铜溶液，立即产生蓝色的氢氧化铜沉淀。反应的化学方程式为：

$$2NaOH + CuSO_4 = Na_2SO_4 + Cu(OH)_2 \downarrow$$

（二）离子反应发生的条件

在溶液中，酸、碱、盐之间互相交换离子的反应，都是离子反应。

是否所有离子之间都能发生离子反应发生呢？实际上，离子间要想发生离子反应，必须满足以下几个条件。

1. 生成沉淀，如生成 $BaSO_4$、$AgCl$、$CaCO_3$ 等

例如，当 NaOH 溶液与 $CuSO_4$ 溶液相混合时，由于 Cu^{2+} 与 OH^- 立即结合生成难溶的 $Cu(OH)_2$ 沉淀，使溶液中 Cu^{2+} 和 OH^- 的浓度迅速减小，因此该离子反应能够发生：

$$Cu^{2+} + 2OH^- = Cu(OH_2) \downarrow$$

2. 生成弱电解质，如生成 CH_3COOH、H_2O、$NH_3 \cdot H_2O$、HClO 等

例如，当 NaOH 溶液与盐酸混合时，由于 H^+ 与 OH^- 立即结合生成难电离的 H_2O，使溶液中 H^+ 和 OH^- 的浓度迅速减小，因此该离子反应能够发生：

$$H^+ + OH^- = H_2O$$

3. 生成气体，如生成 CO_2、SO_2、H_2S 等

例如，当 Na_2SO_3 溶液与稀硫酸混合时，由于生成挥发性的 SO_2，使 H^+、SO_3^{2-} 的浓度迅速减小，因此离子反应能发生：

$$2H^+ + SO_3^{2-} = SO_2 \uparrow + H_2O$$

只要具备上述三个条件中的任何一个，离子反应就可以发生。否则，离子反应就不能发生。

例如，在 KNO_3 溶液与 NaCl 溶液混合后，虽然有 Na^+、Cl^-、K^+、NO_3^- 四种离子存在于溶液中，但因为没有沉淀或弱电解质或气体生成，所以就不能发生离子反应。



Ag^+、Cl^-、Ba^{2+}、CO_3^{2-} 这几种离子是否能共存于同一个溶液中？

（三）离子方程式

用实际参加化学反应的离子符号来表示离子反应的式子叫做离子方程式。

例如反应 NaOH + HCl = NaCl + H_2O 中，实际参加化学反应的离子是 OH^- 和 H^+，二者结合生成弱电解质水，而 Na^+ 和 Cl^- 并没有参加反应。这个反应的实质是：

$$OH^- + H^+ = H_2O$$

离子方程式不仅表示一定物质间的某个反应，而且还可以表示所有同一类型的离子反应。例如 $Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$，不仅表示 $BaCl_2$溶液与 Na_2SO_4溶液之间的反应，还可以表示所有可溶性钡盐与可溶性硫酸盐溶液的反应。例如反应 $Ba(NO_3)_2 + K_2SO_4 \xlongequal{} BaSO_4\downarrow + 2KNO_3$反应的离子方程式也是：

$$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$$



根据离子方程式 $H^+ + OH^- = H_2O$，举例说明实际发生反应的物质可以是哪些。



离子方程式的书写方法

书写离子方程式的方法可归纳为四步。

（1）写——写出正确的化学反应方程式。

（2）拆——把易溶于水的强电解质拆写成离子形式，把难溶于水的物质或难解离的物质以及气体、单质、氧化物仍用分子式表示。对于难溶于水但易溶于酸的物质，如 $CaCO_3$、FeS、$Cu(OH)_2$、$Mg(OH)_2$等仍写成分子式。

（3）删——把方程式两边都有的且不参加反应的相同离子删除。

（4）查——检查写出的离子方程式是否符合前三项的要求，并检查是否符合质量守恒、是否符合电荷守恒。

二、盐类的水解



请就下列问题进行讨论：我们知道酸溶液显酸性，碱溶液显碱性，那么盐溶液是否都显中性呢？



将 NaAc、NH_4Cl、NaCl 固体分别加入三支盛有蒸馏水的试管中，振荡溶解，然后用 pH 试纸加以检验溶液的酸碱性。

NaAc，NH_4Cl，NaCl 等盐均是酸、碱中和的产物。这些盐的水溶液是否都呈中性呢？实验结果如下。

实验的盐	CH_3COONa（简写为 NaAc）		NH_4Cl		NaCl	
生成盐的相应的酸和碱的类型	酸	碱	酸	碱	酸	碱
	弱酸	强碱	强酸	弱碱	强酸	强碱
盐溶液的 pH	>7		<7		=7	
盐溶液的酸碱性	碱性		酸性		中性	

从上述实验结果可以看出，盐溶液的酸碱性与生成该盐的酸和碱的强弱有密切关系。为什么不同盐的水溶液会显示不同的酸碱性呢？下面就生成盐的不同类型进行讨论。

（一）强酸弱碱盐的水解

例如，NH_4Cl 在水溶液中发生解离，同时水也发生部分解离，用离子方程式表示如下：

$$\begin{array}{l} NH_4Cl = NH_4^+ + Cl^- \\ \quad\quad\quad + \\ H_2O \rightleftharpoons OH^- + H^+ \\ \quad\quad\quad\quad \Downarrow \\ \quad\quad\quad\quad NH_3 \quad H_2O \end{array}$$

根据化学平衡移动的原理，NH_4Cl 解离出的 NH_4^+ 与 H_2O 解离出的 OH^- 结合生成了弱电解质 $NH_3 \cdot H_2O$，因为消耗了 OH^-，所以促进了 H_2O 的解离，使水的解离度增大，导致 $C_{H^+} > C_{OH^-}$，溶液呈酸性。NH_4Cl 的水解反应如图 3-14 所示。

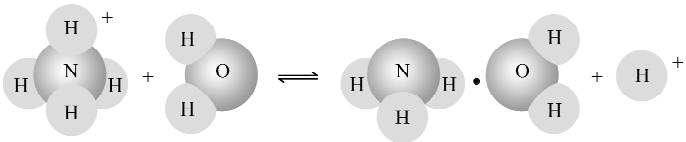


图 3-14　NH_4Cl 的水解反应

由此可见，强酸弱碱盐的水解实质是盐的弱碱离子与 H_2O 解离产生的 OH^- 结合，生成弱碱而使溶液呈酸性。

NH_4Cl 水解的化学反应方程式表示为：

$$NH_4Cl + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + HCl$$

NH_4Cl 水解的离子反应方程式表示为：

$$NH_4^+ + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O + H^+$$

（二）强碱弱酸盐的水解

例如，CH_3COONa 在水溶液中发生解离，同时水也发生部分解离，用离子方程式表示如下：

$$\begin{array}{l} CH_3COONa = CH_3COO^- + Na^+ \\ \quad\quad\quad\quad + \\ H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^- \\ \quad\quad\quad\quad\quad \Downarrow \\ \quad\quad\quad\quad\quad CH_3COOH \end{array}$$

根据化学平衡移动的原理，CH_3COONa 解离出的 CH_3COO^- 与 H_2O 解离出的 H^+ 结合生成了弱电解质 CH_3COOH，因为消耗了 H^+，所以促进了 H_2O 的解离，使水的解离度增大，导致 $C_{OH^-} > C_{H^+}$，溶液呈碱性。CH_3COONa 的水解反应如图 3-15 所示。

由此可见，强碱弱酸盐的水解实质是盐的弱酸离子与 H_2O 解离产生的 H^+ 结合，生成弱酸而使溶液呈碱性。

CH_3COONa 水解的化学反应方程式表示为：

$$CH_3COONa + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + NaOH$$

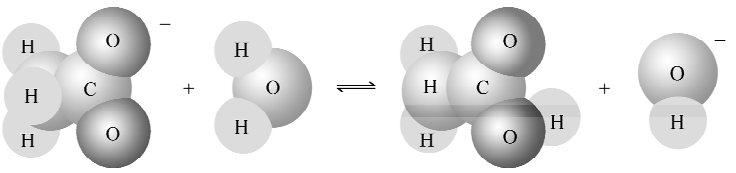


图 3-15　CH_3COONa 的水解反应

CH_3COONa 水解的离子方程式表示为：

$$CH_3COO^- + H_2O \rightleftharpoons CH_3COOH + OH^-$$

课堂讨论

请就下列问题进行讨论：Na_2CO_3是盐，可为什么又叫纯碱呢?

（三）强酸强碱盐

例：$NaCl = Na^+ + Cl^-$

$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$

由于强酸强碱盐解离出的离子不会与水解离出的 H^+或 OH^-结合形成弱电解质，不会破坏 H_2O 的解离平衡，所以强酸强碱盐不会发生水解，溶液呈中性。

综上所述，盐类的离子与溶液中水解离出来的 H^+或 OH^-结合生成弱酸、弱碱等弱电解质的反应称为盐类的水解。

不同类型的盐发生水解反应遵循的规律是：

（1）在组成盐的阴、阳离子中，至少要有一个是弱酸或弱碱离子，盐才能发生水解反应。

（2）在组成盐的阴、阳离子中，只有弱酸或弱碱离子才与水解离出的 H^+或 OH^-结合生成弱酸、弱碱，发生水解反应。

（3）如果盐发生水解反应，则溶液的酸碱性由强酸或强碱离子决定，即如果盐为强酸弱碱盐，则盐溶液显酸性；如果盐为强碱弱酸盐，则盐溶液显碱性。

（四）影响水解平衡的因素

盐在水溶液中是否发生水解及水解程度的大小，主要是由盐本身的性质决定的。生成盐的相应酸或碱，酸性或碱性越弱，其盐水解程度越大。

此外，温度、浓度和溶液的酸碱度也会影响盐的水解程度。例如，水解反应为吸热反应，升高温度，水解程度会增大；盐的浓度越小，水解程度越大；水解呈酸性的盐溶液，若加入碱，就会中和溶液中的 H^+，使平衡向水解方向移动而促进水解；若加入酸，则抑制水解。

（五）盐类水解的应用

盐类水解在科学实验、生产和生活中都有较广泛的应用。

例如在配制 $CuCl_2$溶液时，由于会出现浑浊物，可以加入少量的稀盐酸，抑制水解，从而阻止沉淀物 $Cu(OH)_2$的出现。

根据土壤的酸碱性，选择适宜使用的肥料种类。由于强酸土壤和强碱性土壤不利于作物生长。因此，酸性土壤宜施用 NH_4HCO_3肥料；碱性土壤宜施用 NH_4NO_3肥料。

相关链接

手提式泡沫灭火器

我们在公共场所常见的手提式泡沫灭火器主要由筒体、器盖，瓶胆和喷嘴等组成。筒体内装碱性 $NaHCO_3$ 溶液，瓶胆内装酸性 $Al_2(SO_4)_3$ 溶液，瓶胆用瓶盖盖上，以防酸性溶液蒸发或因振荡溅出而与碱性溶液混合。平时，两种溶液互不接触，不会发生任何化学反应。当需要使用灭火器时，应一手握提环，一手抓底，如图 3-16 所示，把灭火器颠倒过来，轻轻抖动几下，喷出泡沫，进行灭火。



图 3-16　灭火器的使用

泡沫灭火器为什么能喷出泡沫而灭火呢？原来，当我们一手握提环，一手抓底将泡沫灭火器颠倒过来时，筒体内的碱性 $NaHCO_3$ 溶液与瓶胆内的酸性 $Al_2(SO_4)_3$ 溶液便会混合，发生双水解产生大量的能够灭火的二氧化碳气体。灭火器中除了装有 $NaHCO_3$ 和 $Al_2(SO_4)_3$ 两种反应物外，还加入了一些发泡剂。打开开关后，含有大量二氧化碳气体的泡沫会从灭火器中喷射出来，覆盖在燃烧物品上，使燃着的物质与空气隔离，并降低温度，从而达到灭火的目的。泡沫灭火器内发生的主要的化学反应如下：

$$Al^{3+} + 3H_2O \rightleftharpoons Al(OH)_3 + 3H^+$$

$$HCO_3^- + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$$

总反应式：

$$Al^{3+} + 3HCO_3^- = Al(OH)_3\downarrow + 3CO_2\uparrow$$

相关链接

肥 料 混 施

肥料混施是指将两种或两种以上的肥料混合在一起施用。混合施用化肥具有很多好处，如可以满足作物对多种养分的需求，使各种养分相互调节、相互补充，达到最好的增产效果；可以减少施肥次数，节省劳力，降低施肥成本等。

但是，因为各种肥料的化学性质和物理性状不同，不是任何两种肥料混合施用都是有益的。如果对化肥的性能不了解，胡乱混施化肥，就会使一些农作物干枯、烧死、减产。

化肥混施应掌握三条原则：

(1) 化肥混合后不能使其中任何一种养分降低。

(2) 化肥混合后不能产生任何不良的理化性状。

(3) 所选取的化肥养分种类比例必须适合作物的营养需求和土壤肥力状况。

下面介绍一些常用化肥混施时的注意事项。

过磷酸钙不能与草木灰、石灰等碱性肥料混用。因过磷酸钙，呈酸性，而草木灰、石灰等呈碱性且含钙较多，若二者混合施用，不但会发生酸碱反应，降低肥效，还会使钙固定磷素，导致“两败俱伤”。

磷矿粉、骨粉等难溶性磷肥，也不能与草木灰、石灰等碱性肥料混用，因为草木灰、石灰等碱性肥料会中和土壤内的有机酸类物质，使难溶性磷肥更难溶解，作物无法吸收利用。

钙镁磷肥等碱性肥料不能与铵态氮肥混施。因为碱性肥料与铵态氮肥如硫酸铵、碳铵、氯化铵、硝酸铵等混施，会导致和增加氨的挥发损失，降低肥效。

人畜粪尿等农家肥不能与钙镁磷肥、草木灰、石灰氮、石灰等碱性肥料混施。因为人畜粪尿中的主要成分是氮，若与碱性肥料混用，则会中和而失效。



（1）判断下列水溶液的酸碱性。

① $NaHCO_3$。

② KCl。

③ $Cu(NO_3)_2$。

④ KClO。

⑤ NaF。

（2）农业谚语："灰混粪，粪混灰，灰粪相混损肥分。"思考：为什么灰粪相混会损肥分？（草木灰的成分：K_2CO_3；铵态氮肥即铵盐，例如 NH_4Cl。）

第五节　缓冲溶液

人体血液的 pH 能保持恒定值（7.4 ± 0.05），固然大部分依靠各种排泄器官将过多的酸、碱物质排出体外，但更重要的是因为血液中具有多种缓冲体系，以保持其本身和机体的酸碱平衡。在人体血液中主要的缓冲体系有 $H_2CO_3 - HCO_3^-$、$H_2PO_4 - HPO_4^{2-}$、蛋白质—蛋白质盐等。若人体血液 pH 改变超过 0.4 单位，就会有生命危险。下面介绍缓冲溶液。

一、同离子效应



取两支试管，各加入 10mL 1.0mol/L 的 HAc 溶液及甲基橙指示剂 2 滴，试管中的溶液呈红色，然后在试管 1 中加入少量固体 NaAc，边振荡边与试管 2 比较，结果发现试管 1 中溶液的红色逐渐褪去，最后变成黄色。

实验表明，试管 1 的溶液中加入 NaAc 后，酸度降低了，这是因为 HAc-NaAc 溶液中存在着下列电离关系：

$$HAc \rightleftharpoons H^+ + Ac^-$$

$$NaAc = Na^+ + Ac^-$$

由于 NaAc 在溶液中是以 Na^+ 和 Ac^- 存在，溶液中 Ac^- 的浓度增加（生成物浓度增大），使它的电离平衡向左移动，结果使溶液中的 H^+ 减小，HAc 的电离度降低。

这种在弱电解质溶液中加入一种与该弱电解质具有相同离子的易溶强电解质后，使弱电解质的电离度降低的现象称为同离子效应。



25℃时，用 pH 试纸测 50mL 纯水的 pH 值。然后在 50mL 纯水中加入 10mL 0.01mol/L 的 HCl 或 0.01mol/L NaOH，再测溶液的 pH 值。

结果会发现，往纯水中加入少量强酸或强碱，溶液 pH 就会发生显著变化。

通过上面两个实验，我们发现有的溶液具有维持 pH 基本不变的能力，而具有这种特殊能力的溶液就叫做缓冲溶液。

二、缓冲溶液及缓冲作用

能够抵抗外来少量酸、碱或适量稀释，而本身的 pH 不发生明显改变，这种溶液称为缓冲溶液。

缓冲溶液对外来少量酸、碱或适量水稀释的抵抗作用称为缓冲作用。

缓冲溶液在农业上具有重要的意义。因为动、植物的生长发育都需要保持一定的 pH，而能够做到这一点是只有生物体内完善的天然缓冲体系。生物体内细胞的生长和活动需要一定的 pH 值，体内 pH 环境的任何改变都将引起与代谢有关的酸碱电离平衡移动，从而影响生物体内细胞的活性。此外，在化学上，也常常需要用缓冲溶液，使某些反应在一定的 pH 范围内进行。

三、缓冲溶液的组成和分类

缓冲溶液之所以具有缓冲能力，是因为在这种溶液中既含有足够量的能够对抗外加酸的成分，即抗酸成分；又含有足够量的对抗外加碱的成分，即抗碱成分。抗酸成分和抗碱成分组成缓冲对（缓冲体系）。缓冲对一般都是共轭酸碱对。

根据缓冲对的不同，缓冲溶液主要有以下三种类型。

1. *弱酸和弱酸对应的盐*

其中，弱酸为抗碱成分；弱酸对应的盐为抗酸成分。

例如：HAc—NaAc 缓冲溶液，H_2CO_3—$NaHCO_3$缓冲溶液。

2. *弱碱和弱碱对应的盐*

其中，弱碱为抗酸成分；弱碱对应的盐为抗碱成分。

例如：$NH_3 \cdot H_2O$—NH_4Cl 缓冲溶液。

3. *多元酸的酸式盐及其对应的次级盐*

其中，多元酸的次级盐为抗酸成分；弱碱对应的盐为抗酸成分。

例如：NaH_2PO_4—Na_2HPO_4缓冲溶液。



如何理解浓的强酸、强碱从某种意义上来讲也是缓冲溶液？

四、缓冲溶液的缓冲原理

为什么缓冲溶液能够抗拒外界的影响而保持 pH 基本不变呢？

下面以 HAc—NaAc 缓冲溶液为例来说明其缓冲原理。HAc 是弱电解质，在溶液中只能部分解离，而 NaAc 是强电解质，在溶液中是以离子形式存在的，即

$$HAc \rightleftharpoons H^+ + Ac^-$$

$$NaAc = Na^+ + Ac^-$$

由于 NaAc 在溶液中完全解离，所以溶液中有大量的 Ac^- 存在。HAc 本身是一种弱电解质，再加上 NaAc 引起的同离子效应。因此，在 HAc—NaAc 缓冲溶液中，HAc 和 Ac^- 的浓度都较高，而 H^+ 浓度相对较小。

（1）如果向该缓冲溶液中加入少量的酸，由于溶液中存在大量的 Ac^-，它就会与 H^+ 结合，生成 HAc，即平衡向左移动，消耗了 H^+，结果溶液中 H^+ 的浓度不会明显增加。溶液的 pH 保持稳定。在该缓冲溶液中，Ac^- 是抗酸成分。

（2）如果向该缓冲溶液中加入少量的碱，OH^- 就会与溶液的 H^+ 结合生成难解离的 H_2O。当溶液中的 H^+ 浓度稍有降低时，大量存在的 HAc 解离出相应的 H^+ 来补充，溶液的 pH 几乎也没有升高。HAc 是该缓冲溶液的抗碱成分。

（3）如果加水稀释，溶液中 H^+ 浓度虽然降低了，但 Ac^- 的浓度也同时降低了，结果是离子效应减弱，使 HAc 的解离度增加，由 HAc 解离产生的 H^+ 可维持溶液的 pH 基本不变。

总之，由于缓冲溶液中同时含有较大量的抗碱成分和抗酸成分，它们通过弱酸或弱碱的解离平衡移动以达到消耗掉外来的少量强酸、强碱，或对抗适量的稀释作用，使溶液的 H^+ 或 OH^- 浓度没有明显的变化，因此缓冲溶液具有缓冲作用。



缓冲能力

在无机化学中，我们把使缓冲溶液的 pH 值改变 1 个单位所需要的强酸或强碱的量，称为缓冲能力。缓冲能力的大小与缓冲溶液的总浓度（$c_a + c_b$）及其 c_a/c_b 或 c_b/c_a 比有关。当缓冲溶液的总浓度一定时，c_a/c_b 或 c_b/c_a 越接近 1，则缓冲能力越强；等于 1 时，缓冲能力最强。当 c_a/c_b 或 c_b/c_a 一定时，缓冲溶液的总浓度越大，缓冲能力越强。缓冲溶液的缓冲能力是有限的，当加入酸或碱量过多时，缓冲溶液就失去缓冲能力。

在土壤中，由于含有多种缓冲对，如碳酸和碳酸盐、磷酸和磷酸盐、腐殖酸和腐殖酸盐等复杂的缓冲体系，所以能使土壤维持一定的 pH，从而保证了植物的正常生长。



验证缓冲溶液的缓冲作用

（1）在两支试管中分别加入 10mL 0.1mol/L 的氨水溶液和 1.00g 氯化铵，配成缓冲液，用 pH 试纸测定其 pH 值，pH = _____。

（2）在其中一支试管中加入 1ml 0.1mol/L 氢氧化钠溶液，测其 pH 值，pH = _____。在另一支试管中加入 0.1mol/L 盐酸溶液，测其 pH 值，pH = _____。

（3）观察步骤（2）中测得的 pH 值与步骤（1）中的 pH 值有什么关系。

实验内容	所需试剂	所需仪器
3-4　验证缓冲溶液的缓冲作用	0.1mol/L 的氨水溶液、氯化铵固体、0.1mol/L 氢氧化钠溶液、0.1mol/L 盐酸溶液	台秤、试管、试管架、玻璃棒、量筒、胶头滴管、pH 试纸



复习与提示

一、化学反应速率

定义	
表示方法	
影响因素	

二、化学平衡

外界条件对化学平衡的影响。

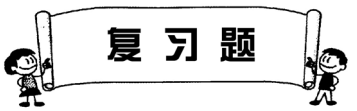
改变影响平衡的一个条件	化学平衡的移动	化学平衡移动的结果
增大反应物浓度 减小反应物浓度 增大生成物浓度 减小生成物浓度 增大体系压强 减小体系压强 升高温度 降低温度		

三、电解质的定义及代表物

		强电解质	弱电解质
概念			
代表物			
相同点		在水溶液中（或溶化状态时），都能产生自由移动离子	在水溶液中（或溶化状态时），都能产生自由移动离子
不同点	微粒存在形式		大量存在电解质分子，少量存在弱电解质产生的离子
	解离过程	不可逆、不存在解离平衡，解离方程式用“ = ”	

四、盐类的水解

测试对象	溶液酸碱性	生成该盐的酸和碱		盐的类型
		酸	碱	
CH_3COONa			NaOH	强碱弱酸盐
Na_2CO_3		H_2CO_3		
NH_4Cl		HCl		
$Al_2(SO4)_3$		H_2SO_4	$Al(OH)_3$	
NaCl			NaOH	
$Ba(NO_3)_2$			$Ba(OH)_2$	



一、填空题

1. 化学反应速率的计算公式_____。其中化学反应速率的常用单位是_____。

2. 可逆反应达到化学平衡后，$v_{正}$_____$v_{逆}$。

3. 在一定的温度下，改变反应物的浓度，K_c _____。

4. 平衡常数数值的大小是_____的标志，平衡常数值越大，反应可完成的程度_____。

5. 影响化学反应速率的外界因素主要有：_____、_____、_____和_____。

6. 写出下列离子方程式所表示的一个化学方程式

（1）$CO_3^{2-} + 2H^+ = H_2O + CO_2\uparrow$ _____

（2）$Ag^+ + Cl^- = AgCl\downarrow$ _____

（3）$Cu^{2+} + S^{2-} = CuS\downarrow$ _____

（4）$SO_2 + 2OH^- = SO_3^{2-} + H_2O$ _____

（5）$Ba^{2+} + SO_4^{2-} = BaSO_4\downarrow$ _____

7. 有 CH_3COONa、Na_2CO_3、NH_4Cl、$Al_2(SO_4)_3$、NaCl、KNO_3六种溶液，其中呈酸性的是_____；呈碱性的是_____；呈中性的是_____。

8. 写出下列盐类水解的离子方程式。

$NaHCO_3$_____。

$(NH_4)_2SO_4$_____。

$FeCl_3$_____。

二、选择题

1. 通常能缩短反应所需时间，而不能改变化学反应进行程度的是（　　）。

A. 浓度　　B. 压强　　C. 温度　　D. 催化剂

2. 下列事实不能用化学平衡移动原理解释的是（　　）。

A. 强碱存在的条件下，酯的水解程度增大

B. 加催化剂，使 N_2和 H_2和在一定条件下转化为氨气

C. 可用浓氨水和氢氧化钠固体制取氨气

D. 加压条件下有利于 SO_2和 O_2反应生成 SO_3

3. 一氧化氮与一氧化碳都是汽车尾气里的有害物质，它们能缓慢地起反应生成氮气和二氧化碳。对此反应，下列叙述中正确的是（　　）。

A. 改变压强对反应没有影响　　B. 使用催化剂能改变反应速率

C. 降低压强能加大反应速率　　D. 改变温度能加大的反应速率

4. 反应 $4NH_3 + 5O_2 \rightleftharpoons 4NO + 6H_2O$ 在 5L 容器中进行，半分钟后，NO 的物质的量增加了 0.3mol，则此反应的平均速率为（　　）。

A. $v(O_2) = 0.01mol/(L\cdot s)$　　B. $v(NO) = 0.08mol/(L\cdot s)$

C. $v(H_2O) = 0.003mol/(L\cdot s)$　　D. $v(NH_3) = 0.002mol/(L\cdot s)$

5. 在一定温度下，可逆反应 $A_{2(气)} + B_{2(气)} \rightleftharpoons 2AB_{(气)}$ 达到平衡的标志是（　　）。

A. A_2、B_2、AB 的浓度不再随时间而变化

B. 容器中的压强不再随时间变化

C. 单位时间内生成 n mol 的 A_2 同时生成 n mol 的 AB

D. A_2、B_2、AB 的浓度之比为 1∶1∶2

6. 在汽车引擎中，氮气和氧气进行反应，生成会污染大气的一氧化氮：$N_2 + O_2 \rightleftharpoons 2NO$，这个反应是吸热反应。据此，有人认为废气排出后，温度降低，致使一氧化氮分解，污染问题将自行消除。事实证明上述认识是不正确的，主要是因为（　　）。

A. 常温下，NO 分解的速度很慢

B. 废气排出后，体积增大，NO 浓度减小，不利于分解

C. 废气排出后，压力减小，不利于平衡向左移动

D. 在空气中，NO 迅速转化成 NO_2，不可能分解

7. 能使碳酸钙的分解速率显著增大的措施是（　　）。

A. 增加少量的 $CaCO_3$ 固体　　B. 升高温度

C. 加入 MnO_2　　D. 增大压强

8. 在醋酸的下列性质中，不能证明醋酸是弱电解质的是（　　）。

A. $1mol \cdot L^{-1}$ 醋酸溶液中［H^+］为 $1 \times 10^{-3} mol \cdot L^{-1}$

B. 醋酸能与 Na_2CO_3 溶液反应放出二氧化碳

C. 在温度、浓度相同条件下，醋酸溶液的导电能力比盐酸溶液的弱

D. 已知弱酸 A 和 CH_3COONa 反应能生成 CH_3COOH

9. 能正确表示下列化学反应的离子方程式是（　　）。

A. 用碳酸钠溶液吸收少量二氧化硫：$2CO_3^{2-} + SO_2 + H_2O = 2HCO_3^- + SO_3^{2-}$

B. 金属铝溶于盐酸中：$Al + 2H^+ = Al^{3+} + H_2\uparrow$

C. 硫化钠溶于水中：$S^{2-} + 2H^+ = H_2S\uparrow + 2OH^-$

D. 碳酸镁溶于硝酸中：$CO_3^{2-} + 2H^+ = H_2O + CO_2\uparrow$

10. 下列叙述中正确的是（　　）。

A. 氯化钾晶体不能导电，所以它是非电解质

B. 硫酸钙、氢氧化钙微溶于水，但它们均属于电解质

C. 硝酸钾只有在水溶液中才能解离

D. 甲、乙两种酸的溶液，甲的导电能力强，则甲是强酸，乙是弱酸

11. 下列解离方程式中正确的是（　　）。

A. $Ca(HCO_3)_2 = Ca^{2+} + HCO_3^-$

B. $MgCl_2 = Mg^{2+} + Cl^{2-}$

C. $MgCO_3 = Mg^{2+} + CO_3^{2-}$

D. $KHSO_4 = K^+ + H^+ + SO_4^{2-}$

12. 下列溶液的 pH 小于 7 的是（　　）。

A. 溴化钾　　B. 硫酸铜　　C. 硫化钠　　D. 硝酸钡

三、写出下列反应的离子方程式

1. 钠投入水中。

2. 硫酸铝溶液和氯化钡溶液混合。

3. 大理石投入稀盐酸中。

4. 锌投入稀盐酸浓盐酸和二氧化锰共热。

5. 氯气通入水中。

四、综合题

1. 当人体吸入多量的 CO，就会引起 CO 中毒，这是由于 CO 跟人体血液中的血红蛋白结合，使血红蛋白不能与 O_2 结合，失去了运输 O_2 的能力，从而导致人因缺氧而死。这个反应可以表示如下：

$$血红蛋白 - O_2 + CO \rightleftharpoons 血红蛋白 - CO + O_2$$

试着运用化学平衡原理，简述抢救 CO 中毒者时应采取哪些措施？

2. 现代医学证明，人类牙齿由一层称为碱式磷酸钙的坚硬物质保护着。碱式磷酸钙的化学式为 $[Ca_5(PO_4)_3OH]$，在口腔中存在以下平衡：

$$[Ca_5(PO_4)_3OH] \rightleftharpoons 5Ca^{2+} + 3PO_4^{3-} + OH^-$$

当糖附着在牙齿上发酵时会产生 H^+，试着运用化学平衡原理说明经常吃甜食对牙齿的影响。

五、计算题

1. 求 25℃时，0.001mol/L 的 H_2SO_4 溶液的 pH。

2. 求 25℃时，0.001mol/L 的 NaOH 溶液的 pH。

第四章　重要的非金属元素

本章学习要点

- 结合实例，了解非金属元素的原子结构特征和化合价的变化规律；理解典型的非金属单质（如氯、硫、氮等）的特性及主要化学性质；了解其在生产、生活中的应用和对生态环境的影响。
- 了解硫化氢的性质；理解氯化氢和氨气的主要化学性质和用途。
- 了解二氧化硫和三氧化硫、一氧化氮和二氧化氮的性质；掌握硫酸和硝酸的重要性质及用途。
- 掌握卤素离子、硫酸根离子、铵根离子的检验方法。
- 了解元素周期表的结构；理解元素周期表中元素性质的递变规律及应用。
- 了解离子键和离子化合物、共价键和共价化合物。

在人类已发现的112种元素中，植物体内有70多种化学元素存在，动物体内有60多种化学元素存在。人们将生物赖以生存的化学元素称为生物的必需元素。在生物的必需元素中，非金属元素是一大类。这些化学元素在生物体内存在的量相差很大，其发挥的功能也不相同。

氮是生物的必需宏量元素。一切生物体中的蛋白质、核酸都含有氮，蛋白质在生物体内所引起的许多特殊变化是一切生命过程的基础。植物在生长过程中，能够直接吸收利用土壤中硝酸盐和铵盐中的氮，将氮在体内合成为植物蛋白质、核酸，植物蛋白被动物食用后又转化为动物蛋白。当动、植物尸体腐烂后，在土壤中又进行着有机含氮化合物转化为铵盐和硝酸盐的过程，这些铵盐和硝酸盐又可重新被植物吸收利用。

硫是构成动植物蛋白质的重要非金属元素之一，蛋白质中硫的含量约为0.3%～2.5%。动物体中的毛发、软骨中含有较多的硫。土壤中的硫酸盐能被植物和微生物吸收利用而组成有机体。在植物和微生物等尸体分解后，组成中的大部分硫以H_2S形式逸出。若通气状况良好，H_2S会被氧气氧化为硫酸盐。土壤中的硫化物也会被土壤中的微生物（如氧化亚铁硫杆菌等）氧化为硫酸盐。因此，硫在土壤生态环境中存在着一系列的循环转化反应。但如果土壤通气性差，H_2S或相应的硫化物就会逐渐积累，到一定程度时会对植物产生毒害作用。

氯是生命必需宏量元素，存在于生物体的多种体液中，与钠、钾一起参与生理作用。例如，在胃液中，它与氢离子形成盐酸，含量为0.5%，胃酸能促进食物的消化。人体中的氯主要通过食用食盐得到补充。当NaCl缺乏时就会减少胃酸的形成，从而引起食欲减退、精神不振等现象；氯化钠摄入量过高时会引起高血压等症状。

本章将介绍一些农业中常见的非金属单质及其化合物的知识。

第一节　非金属单质

非金属元素的原子的最外层电子数一般大于4，很容易得电子成稳定结构。例如，氮（N）的原子的最外层电子数为5；硫（S）的原子的最外层电子数为6；氯（Cl）的原子的

最外层电子数为7。这些非金属元素的原子在与金属元素的原子发生反应时，由于金属元素的原子最外层电子数少于4个，故在化学反应中易失去最外层电子而表现出正价。非金属元素通常得到电子表现出负价。但是，当这些非金属元素与氧元素结合时，氧元素一定为负价，另一种非金属元素就表现为正价。例如，硫元素与金属元素或氢元素化合时，硫元素表现负价；与氧元素化合时，硫元素表现正价。

一、氮气

氮气是无色、无味的气体，约占空气体积的78%。工业上，主要由分离液态空气制得氮气。氮气是双原子分子。由于两个氮原子之间的结合力很牢固，不易解离。因此，在通常条件下，氮气的性质不活泼，很难与其他物质发生化学反应，但在一些特定条件下，也可以与一些金属、非金属等物质发生反应。

1. 与金属反应

把镁加热到红热的程度时，氮气与镁反应生成氮化镁（Mg_3N_2）。

$$3Mg + N_2 \xlongequal{\triangle} Mg_3N_2$$

2. 与氢气反应

在高温、高压和有催化剂存在的条件下，氮气与氢气反应生成氨（NH_3）。同时，氨也会分解生成氮气与氢气。

$$2N_2 + 3H_2 \underset{\text{催化剂}}{\overset{\text{高温高压}}{\rightleftharpoons}} 2NH_3$$

3. 与氧气反应

在放电条件下，空气中的氮气和氧气可以反应生成无色、不溶于水的一氧化氮（NO）气体。

$$O_2 + N_2 \xlongequal{\text{放电}} 2NO$$

由于氮气的化学性质很不活泼，因此可以用氮气来代替稀有气体做焊接金属所用的保护气。人为提供低氧高氮的冷库环境用来储藏粮食、水果等农副产品；用氮气填充白炽灯泡，可提高灯泡的使用寿命。



氮与固氮

氮元素是农作物体内蛋白质、核酸和叶绿素的主要组成元素。蛋白质是构成原生质的基础物质。核酸是携带遗传特性的重要物质。叶绿素是作物叶子内制造“粮食”的工厂，利用吸收的太阳能，空气中的二氧化碳和土壤中的水合成有机质。因此，氮元素是农作物需要的一种重要的营养元素，农作物一旦缺乏氮素就不能维持生命。

空气中含有大量的氮，但非常可惜的是，植物不能直接从空气中吸取氮气作为养料，大

多数植物只能吸收氮的化合物作为养料。因此，只有把空气中游离态的氮转变为氮的化合物，氮元素才能够被植物吸收。这就是我们常说的固氮。

在自然界中，豆科植物的根瘤及某些固氮菌在常温、常压环境下将空气中的氮转变为氨的过程称为生物固氮。利用空气中的氮气和氢气合成氨，之后制成氮肥是常用的人工固氮法。此外，民间有“雷雨发庄稼”的谚语。这个谚语含有科学道理。在雷雨时，空气中有少量二氧化氮生成，二氧化氮溶于水后生成硝酸，硝酸随雨水进入土壤，同土壤中的矿物作用，形成能被植物吸收的硝酸盐类。



氮肥、磷肥与水体富营养化

俗话说：“庄稼一枝花，全靠肥当家。”当家的肥有氮肥、磷肥和钾肥。

氮是普通作物需求最大的元素之一。氮肥可以明显促进作物生长，快速改善叶色。磷也是农作物必需的元素之一。磷肥可以提高作物的抗旱、抗寒和抗盐能力，并有提早成熟、增加产量和改善品质的作用。

为了不断提高经济效益，一些地区的农民大量、盲目地向土地施用化肥，造成土壤板结，地力下降，不但没有推动粮食增产，反而对周围环境造成了严重的污染。水体富营养化就是其一。农民洒向田间的化肥，1/3 被庄稼吸收，1/3 被土壤留下，还有 1/3 通过各种途径最后进入水体。在一般情况下，水体中的氮、磷含量很低，往往成为浮游植物生长的限制因子。近年来，由于过量使用化肥，大量的氮、磷等元素涌入水体，导致水体富营养化。水体富营养化加速了浮游植物、岸边杂草和水藻的生长繁殖，使水变绿，水体缺氧，导致鱼类不能生存，水不能饮用。水体富营养化最严重时，水质呈黏粥状，腐烂的浮游植物及藻类臭气冲天、腥气逼人。

二、硫

硫在自然界中广泛存在，存在的形式有游离态和化合态两种。化合态硫主要是硫化物和硫酸盐，如硫铁矿（也叫黄铁矿 FeS_2）、黄铜矿（$CuFeS_2$）、石膏（$CaSO_4 \cdot H_2O$）、芒硝（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$）等。游离态的硫存在于火山喷口附近或岩层里。

单质硫俗称硫黄，是一种淡黄色的晶体，质地脆，易研成粉末，不溶于水，微溶于酒精，易溶于二硫化碳。

硫的化学性质比较活泼，在一定条件下能与多种非金属和金属反应。

1. 与非金属反应

$$H_2 + S \xlongequal{\triangle} H_2S$$

$$O_2 + S \xlongequal{\triangle} SO_2$$

2. 与金属反应

$$Fe + S \xlongequal{\triangle} FeS$$

$$2Cu + S \xlongequal{\triangle} Cu_2S$$

硫的用途广泛，工业上主要用来制造硫酸、火药、硫化橡胶，医药上用于配制硫黄软膏，农业上用于制造杀虫剂及含硫农药。



大家对测体温用的玻璃制体温计并不陌生。测体温时，我们会将它有水银的一端放入腋下。如果我们在使用时，不小心将体温计掉在地上会有什么事情发生？我们将怎样处理？哪种方法最科学？

三、氯气（Cl_2）和液溴（Br_2）

氯气和液溴都是双原子分子。常温、常压下，氯气为黄绿色气体，溴为棕红色液体。二者的化学性质相似，它们都能与金属、氢气、水、碱等发生反应，但反应条件略有不同。

1. 与金属反应

氯气能与各种金属反应，生成氯化物，但有些反应需要加热。溴只能与较活泼的金属反应。

$$Cu + Cl_2 \xlongequal{\text{点燃}} CuCl_2$$

$$2Al + 3Br_2 \xlongequal{\text{点燃}} 2AlBr_3$$

2. 与氢气反应

氯和氢的混合气体在强光照射下，立即发生爆炸，生成氯化氢。溴与氢需要在加热和有催化剂作用下才能有明显反应。

$$H_2 + Cl_2 \xlongequal{\text{光照}} 2HCl$$

$$H_2 + Br_2 \xlongequal[\triangle]{\text{催化剂}} 2HBr$$

3. 与水反应

氯和溴都能与水反应，但溴与水反应的速度慢于氯和水反应的速度。

氯与水反应，生成氯化氢（HCl）和次氯酸（HClO）。次氯酸不稳定，见光易分解，能释放出氧气；是一种强氧化剂；可以使有色物质氧化褪色，做漂白剂；可以杀死水中的病菌。因此，氯气常用来给自来水杀菌消毒。

$$H_2O + Cl_2 = HCl + HClO$$

溴与水反应，生成溴化氢（HBr）和次溴酸（HBrO）。

$$H_2O + Br_2 = HBr + HBrO$$



氯气是很重要的工业原料，很多化学物质成分中均含有氯，例如，饮用水消毒常用的消毒剂、某些药物、化学纤维或塑料等都需要氯做原料。氯气泄漏事件在国内、外时有发生，常给国家和人民生命财产造成不少损失。2004 年 4 月，重庆天原化工厂发生氯气泄漏，造成多人死亡和失

踪，上万人有家不能回。

氯气被人吸入后，可以导致人体支气管痉挛、支气管炎、支气管周围水肿、充血和坏死，可引起严重的通气障碍。人吸入浓度为 2.5mg/m^3 的氯气时，就会死亡。一旦发生氯气泄漏，应立即用湿毛巾捂住嘴、鼻，背风快跑到空气新鲜处。

为什么在发生氯气泄漏时，要立即用湿毛巾捂住嘴、鼻，背风快跑到空气新鲜处?

4. 与碱反应

常温下，氯和溴都能与碱溶液发生反应。

$$2NaOH + Cl_2 = NaCl + NaClO + H_2O$$

$$2NaOH + Br_2 = NaBr + NaBrO + H_2O$$



漂白粉的制取与使用

工业上常用氯气和熟石灰制取漂白粉，主要反应如下：

$$2Ca(OH)_2 + 2Cl_2 = CaCl_2 + Ca(ClO)_2 + 2H_2O$$

漂白粉是次氯酸钙和氯化钙的混合物，其有效成分是次氯酸钙。漂白粉具有漂白作用的原因是漂白粉在水中能产生次氯酸，具体反应如下：

$$Ca(ClO)_2 + CO_2 + H_2O = CaCO_3\downarrow + 2HClO$$

漂白粉的用途相当广泛，它可以用来漂白纸浆、棉麻制品，饮用水及泳池水消毒等。在保存漂白粉时，一定要注意将漂白粉置于密闭干燥的容器里。否则，漂白粉会与空气中的水和二氧化碳发生反应而造成漂白作用失效。

5. 置换反应

氯气能从溴化物、碘化物中置换出相应单质溴或碘。溴能从碘化物中置换出相应单质碘。碘单质遇淀粉变蓝，这是碘的特性。利用碘的这一特性可以相互检验碘或淀粉的存在。

$$2NaBr + Cl_2 = 2NaCl + Br_2$$

$$2KI + Cl_2 = 2KCl + I_2$$

$$2KI + Br_2 = 2KBr + I_2$$

课堂活动

巧 写 密 信

1935 年，在狱中的方志敏同志避开狱警的严密监视，用米汤在纸上写下密信，通过地下工作的同志送给鲁迅先生。纸上写的就是我们所熟悉的不朽之作《清贫》和《可爱的中国》。鲁迅先生是怎样读出信的内容的?



人体内的卤素

氟、氯、溴、碘都是卤素。卤素的意思是成盐的元素。顾名思义，这些元素都容易和许

多金属元素化合生成典型的盐。卤素在人体中起重要作用。

氟是人体必需的微量元素，以氟离子形式结合在人的牙齿和骨骼上。人体内的氟含量必须适量，过多或过少都会对人身体造成伤害。人体内缺氟时，骨骼变脆，易发生龋齿。如果长期摄入过多的氟，会使牙釉质发生病变出现黄褐色、黑色的斑点即斑釉齿，还会使骨骼变形出现氟骨症。市场出售的含氟牙膏只适用于缺氟地区的消费者使用。

氯离子是体液中主要的阴离子，与钠离子、钾离子、磷酸氢根离子等共同维持体液的渗透压和酸碱平衡。

碘是人体必需的微量元素，参与甲状腺激素的合成，是甲状腺激素的组成成分。人体内缺乏碘会引起地方性甲状腺肿大。此外，碘还与婴幼儿的智力发育有密切关系。孕妇缺碘就容易生出患有克汀病的婴儿，这些婴儿智力低下、身材矮小。研究证明，一个正常成年人每天至少需要摄入100 μg的碘，若长期摄入量不足50 μg，就可能得碘缺乏病。目前，用加碘食盐防治碘缺乏病是世界上公认的一种好方法。加碘食盐并不是在食盐中加碘单质，而是添加少量的碘化物。目前，我国食盐中加的碘化物是碘酸钾（KIO_3）。

第二节　非金属气态氢化物

一、氨

氨是无色、有刺激性气味的气体；比空气轻；易于液化，常温下加压到700～800 Pa或在常压下冷却到－33.5 ℃时就会液化成液态氨。液态氨气化时要吸收大量的热，而使周围环境的温度降低。因此，液态氨常用来做制冷剂。

1. 与水反应

氨极易溶于水。常温、常压下，1体积的水约能溶解700体积的氨。氨的水溶液称为氨水。氨溶于水后，大部分与水结合成水合氨分子（$NH_3 \cdot H_2O$），水合氨分子不稳定，易分解成氨和水。另外，水合氨分子还有一部分会电离生成NH_4^+和OH^-，所以氨水显弱碱性。

$$NH_3 + H_2O \rightleftharpoons NH_3 \cdot H_2O \rightleftharpoons NH_4^+ + OH^-$$

2. 与酸反应

氨能与酸反应生成铵盐

$$NH_3 + HCl = NH_4Cl$$

二、硫化氢

硫化氢是无色、有臭鸡蛋气味的气体，密度比空气大。硫化氢有剧毒，是大气污染物之一。空气中含有微量的硫化氢，就会使人感到头痛、头晕和恶心。如果吸入较多的硫化氢，会使人昏迷甚至死亡。因此，在实验室制取和使用硫化氢时，必须在通风橱内进行。水稻田里，由于通风不良，产生硫化氢的可能性极高，硫化氢的产生会导致禾苗烂根。

硫化氢能溶于水，其水溶液称为氢硫酸，是一种弱酸，具有酸的通性。氢硫酸放置时间过久，会被空气中的氧慢慢氧化，析出单质硫，而使溶液逐渐变浑。因此，在使用氢硫酸时，最好临时配制。在实验室里，常用硫化亚铁和稀盐酸或稀硫酸反应制取硫化氢。

$$FeS + 2HCl = FeCl_2 + H_2S\uparrow$$

硫化氢可以在空气中燃烧。当氧气充足时，燃烧生成二氧化硫和水；当氧气不充足时，燃烧生成单质硫和水。

$$2H_2S + 3O_2 \xrightarrow{点燃} 2SO_2 + 2H_2O\ （氧气充足）$$

$$2H_2S + O_2 \xrightarrow{点燃} 2S + 2H_2O\ （氧气不充足）$$

三、氯化氢和盐酸

氯化氢是无色、有刺激性气味的液体，密度比空气大，易溶于水；常温下，1 体积水能溶解 450 体积的氯化氢。实验室常用食盐和硫酸的混合物共热来制备氯化氢。氯化氢的水溶液称为氢氯酸，又名盐酸。

$$2NaCl（固） + H_2SO_4（浓） \xrightarrow{强热} Na_2SO_4 + 2HCl\uparrow$$

盐酸是一种重要的化工原料。纯净的盐酸是无色液体，有刺激性气味。工业盐酸常含有氯化铁等杂质而显黄色。市售浓盐酸约含 37% 的氯化氢，在使用时因挥发出的氯化氢与空气中的水蒸气接触形成盐酸液滴而出现“发烟”现象，常称为发烟盐酸。

盐酸是一种强酸，具有酸的通性；能使酸碱指示剂变色，能与活泼金属、碱性氧化物、碱类和盐类反应生成盐酸盐。



人体内的“盐酸工厂”

人体内的“盐酸工厂”就是我们的胃。胃每天分泌胃液，胃液里含有胃酸。胃酸的化学成分就是盐酸。一个人的胃每年大约能生产出 3～4L 的盐酸。这些盐酸可以溶解和消化蛋白质。当我们吃肉类食物比较多的时候，胃分泌出来的盐酸会增加好几倍。

盐酸还具有强烈的杀菌作用。我们常会得到“饭后不要立即喝进大量的汤水”的健康建议。原因是：进餐时，细菌会随着食物进到胃里，胃里的盐酸就会消灭它们。如果我们在饭后立即喝进大量的汤水，就会冲淡胃里的盐酸，细菌就有可能逃过这关，进入肠道在那里繁殖。这样，我们就会患上肠道感染的疾病。

胃里的盐酸产量必须保持在一定的水平，过多或过少都会影响身体健康。盐酸过少的人会有消化不良的现象，医学上称胃酸缺乏症。大夫会给这类患者服用由 10% 的稀盐酸配制的药液。盐酸过多的人会感到烧心、反酸水、呃气等，医学上称胃酸过多症。大夫会给这类患者服用适量的小苏打等碱性药物，中和过多的盐酸。

第三节　非金属氧化物及含氧酸

一、硫的氧化物及其含氧酸

（一）二氧化硫和亚硫酸

二氧化硫是无色，有刺激性气味的气体，密度比空气大，易液化，具有毒性，它会引起

人体呼吸道疾病，严重时会致人死亡。是大气检测的主要污染物之一。

二氧化硫易溶于水，常温、常压下，1 体积水约能溶解 40 体积二氧化硫。二氧化硫溶于水可生成亚硫酸，因此，二氧化硫又称为亚硫酸酐。亚硫酸不稳定，易分解为水和二氧化硫。

$$H_2O + SO_2 \rightleftharpoons H_2SO_3$$

二氧化硫在有催化剂和一定的温度条件下，可以与氧气反应生成三氧化硫。

$$O_2 + 2SO_2 \xrightarrow[\triangle]{\text{催化剂}} 2SO_3$$

二氧化硫能漂白某些有色物质。在工业上常用其漂白纸浆、丝、毛、草帽等。二氧化硫有漂白作用，是因为它能与某些有色物质生成不稳定的无色物质。但这种无色物质易分解，又会恢复成原来的颜色。所以，用二氧化硫漂白过的草编织品会逐渐变黄。

实验室中常用亚硫酸盐和盐酸来制取二氧化硫，利用该反应也可以检验亚硫酸盐。

$$Na_2SO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2O + SO_2\uparrow$$



伦敦烟雾

伦敦烟雾也称为硫酸烟雾，最早是在英国伦敦发生的。1952 年 12 月，在伦敦发生了一次硫酸烟雾污染事件。当时，伦敦上空笼罩了一层很浓的黄色烟雾。许多飞机因为烟雾而被迫停飞，汽车白天行驶也必须开灯，行人走路也很困难，人们感觉空气带有强烈的刺激性气味，许多人有咳嗽和刺眼的症状。据统计，5 天内有 4000 多人死亡，两个月内又有 8000 多人死亡。

硫酸烟雾主要是由燃煤排放的 SO_2、颗粒物以及由 SO_2 氧化所形成的硫酸盐颗粒物造成的。当时，伦敦上空受冷高压控制，高空中的云阻挡了来自太阳的光，地面温度迅速降低，上层空气形成了逆温层，大量的家庭烟囱和工厂排放的含有大量 SO_2 烟就聚积在低层大气中，难以扩散，这样就在伦敦城市上空低层大气中形成了黄色的硫酸烟雾。

（二）硫酸

纯硫酸是无色油状液体。市售硫酸的密度为 1.84g/cm^3，质量分数约为 98%。硫酸是一种难挥发的强酸，易溶于水，能以任意比例与水混溶。浓硫酸溶于水时放出大量的热，会使液体沸腾而飞溅。因此，在稀释浓硫酸时，一定要把浓硫酸沿器壁慢慢地注入水中，并不断搅拌。切不可以把水倒入浓硫酸中。

稀硫酸具有酸的通性。浓硫酸由于存在形式与稀硫酸不同，因此它具有与稀硫酸不同的特性。

1. 浓硫酸具有吸水性

浓硫酸具有很强的吸水性。利用这一性质，工业上和实验室里常用其干燥某些气体，如 H_2、Cl_2、CO_2 等。

2. 浓硫酸具有脱水性

浓硫酸能将有机物中的氢、氧按水的组成比例脱出，而使其炭化变黑。例如，纸片、木屑、棉花、蔗糖等滴上浓硫酸后均逐渐变黑。

3. 浓硫酸具有氧化性

浓硫酸是强氧化剂，能氧化许多金属和非金属。

$$2H_2SO_4(浓) + Cu \xlongequal{\triangle} CuSO_4 + 2H_2O + SO_2\uparrow$$

$$2H_2SO_4(浓) + C \xlongequal{\triangle} CO_2\uparrow + 2H_2O + SO_2\uparrow$$

常温下浓硫酸与铁、铝接触时，会在金属的表面形成一层致密的氧化物膜，从而阻止内部金属继续与浓硫酸反应。这种现象称为“钝化”。因此，可以用铁或铝的容器储存和运输冷的浓硫酸。

二、氮的氧化物及其含氧酸

（一）一氧化氮和二氧化氮

一氧化氮是无色气体。常温下，一氧化氮很容易与空气中的氧反应，生成具有刺激性气味的红棕色的二氧化氮（NO_2）气体。二氧化氮有毒，是一种大气污染物，它可溶于水生成硝酸和一氧化氮。

$$O_2 + 2NO = 2NO_2$$

$$H_2O + 3NO_2 = 2HNO_3 + NO$$



一氧化氮是宇航员晕厥发作的元凶

近些年，研究发现一氧化氮（NO）广泛分布于生物体内各组织中，特别是神经组织中。它是一种新型生物信使分子，在心、脑血管调节、神经、免疫调节等方面有着十分重要的生物学作用，1992 年被美国 Science 杂志评选为明星分子，受到人们的普遍重视。

一氧化氮的过量产生会使血管扩张，这样就可以解释为什么宇航员在太空飞行之后会产生晕厥。

在我们正常的直立的生活中，重力使血液流往下肢，因此身体下部的血管收缩以确保有足够的血液流往相反的方向。在低重力环境下，人全身的血压一样，当宇航员返回地球时，他们身体下部过度舒张的血管使头部血压急剧下降，于是在站立时，不可避免地要晕倒。人们看到宇航员登陆后轻松地大步行走，是因为他们穿着加压的衣服，能保持健康的血压。

加州大学的研究人员在对大鼠进行的试验中发现，低重力环境下，大鼠产生一氧化氮的两种酶增多，当给予大鼠药物抑制其中一种酶时，它们的血压会升高。这给研究人员一个提示：抑制一氧化氮对宇航员的晕厥是一种有效的治疗。

（二）硝酸

纯硝酸是无色、易挥发、有刺激性气味的液体，密度为1.503g/cm^3，熔点为－41.4 ℃，沸点为83 ℃。硝酸能以任意比例与水混溶，常用的浓硝酸的质量分数约为65%。质量分数在85%以上的硝酸，挥发后在空气中遇水蒸气能生成极微小的硝酸液滴，而产生“发烟”现象，通常称为发烟硝酸。

硝酸是一种强酸，它除了具有酸的通性外，还具有一些特性。

1. 不稳定性

硝酸不稳定，易分解。纯硝酸或浓硝酸在常温下见光就会分解，生成氧气、水和二氧化氮，受热时分解更快。硝酸越浓，温度越高，越易分解。为了防止硝酸分解，应将硝酸盛放在棕色试剂瓶中，并放在低温、阴暗处保存。

$$4HNO_3 \xlongequal{\triangle 或光照} 2H_2O + 4NO_2\uparrow + O_2\uparrow$$

2. 氧化性

硝酸是一种很强的氧化剂。浓硝酸、稀硝酸都具有氧化性，几乎能与所有的金属（金、铂等少数金属除外）或非金属发生氧化还原反应。

$$C + 4HNO_3（浓） = CO_2\uparrow + 4NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$Cu + 4HNO_3（浓） = Cu(NO_3)_2\uparrow + 2NO_2\uparrow + 2H_2O$$

$$3Cu + 8HNO_3（稀） = 3Cu(NO_3)_2\uparrow + 2NO\uparrow + 4H_2O$$

有些金属如铝、铁等在冷的浓硝酸中会发生钝化现象。浓硝酸将金属的表面氧化成一层致密的氧化物膜，阻止内部金属进一步与浓硝酸反应。可以用铝罐车装运浓硝酸。

浓硝酸与浓盐酸按1∶3体积比进行混合得到的混合酸叫王水。王水能使一些不溶于硝酸的金属（如金、铂等）溶解。利用该性质，王水常用在蚀刻工艺和一些分析过程中。

化学与生活

近些年，不断有这样的事件被媒体曝光：人们在首饰加工商处加工或清洗金铂首饰（黄金或白金）时，自己的金铂首饰常会在不知不觉中缩水减重，被加工商偷取，损害消费者的利益。这些金铂首饰是如何被加工商占为己有的呢？原来不法商贩在清洗金铂首饰时，在使用的盐酸清洗液中加入了硝酸，这种盐酸和硝酸的混合液，就是所谓的“王水”。“王水”能使黄金、白金等贵重金属溶解，释放出金元素。这些溶解了金、铂元素的“王水”，只要通过简单的化学反应，加入适当的活泼金属（如锌粉和铁粉等），就能将溶解在“王水”中的黄金还原出来。

第四节　非金属离子检验

一、铵根离子（NH_4^+）检验

含有铵根离子（NH_4^+）的盐多为白色晶体，易溶于水，受热易分解。例如：

$$NH_4Cl \xrightarrow{\triangle} NH_3\uparrow + HCl$$

$$NH_4HCO_3 \xrightarrow{\triangle} NH_3\uparrow + H_2O + CO_2\uparrow$$

这类盐与碱共热能生成具有刺激性气味的氨气，氨气能使湿润的红色石蕊试纸变蓝。利用这一性质可以检验 NH_4^+ 的存在；也可以在实验室制取少量的氨。

$$NH_4Cl + NaOH \xrightarrow{\triangle} NaCl + NH_3\uparrow + H_2O$$

实践活动

一位粗心的实验人员将两种药品的标签弄丢了。两种药品都是白色晶体，其中一种是氯化铵（NH_4Cl），另一种是氯化钠（NaCl）。请你想办法帮助他，将两种药品区分开。

（1）将两种白色晶体各取少量分别置于两支试管中。

（2）在两支试管中分别滴入 5 滴 6mol/L NaOH 溶液。

（3）在两支试管口上分别贴一张湿润的红色石蕊试纸。将两支试管放到一个盛有热水的烧杯中。

（4）观察现象：_____。

（5）得到结论：_____。

请你设计另一种实验方案，也能达到将两种药品区分开的目的。

方案如下：_____

_____。

二、硫酸根离子（SO_4^{2-}）的检验

硫酸根离子能与可溶性钡盐反应，生成不溶于盐酸或稀硝酸的白色硫酸钡沉淀。利用这一性质可以检验硫酸根离子的存在。例如：

$$Na_2SO_4 + BaCl_2 = BaSO_4\downarrow + 2NaCl$$

实践活动

现在有硫酸铵［$(NH_4)_2SO_4$］晶体。请你设计一个实验，并亲自做一做，来证明硫酸铵既是铵盐又是硫酸盐。

（1）实验方案：_____。

（2）观察到的现象：_____。

三、亚硫酸根离子（SO_3^{2-}）的检验

亚硫酸和盐酸来反应可生成二氧化硫，二氧化硫可以使品红溶液褪色。利用该反应也可以检验亚硫酸盐。

$$Na_2SO_3 + 2HCl = 2NaCl + H_2O + SO_2\uparrow$$

实践活动

现在有三瓶没有标签的试剂，分别盛硫酸钠、亚硫酸钠、硫化钠三种物质。请你设计实验，只用一种试剂，将它们区别出来。

（1）用于区别三种物质的试剂是_____。

（2）实验方案：_____。

（3）观察到的现象和结论：_____。

四、卤离子的检验

多数金属卤化物为白色晶体，易溶于水，但卤化银除氟化银外都难溶于水，也不溶于稀硝酸，并且具有特殊的颜色。利用这一性质可以对卤离子进行检验。

$$NaCl + AgNO_3 = NaNO_3 + AgCl\downarrow \text{白色}$$

$$NaBr + AgNO_3 = NaNO_3 + AgBr\downarrow \text{浅黄色}$$

$$NaI + AgNO_3 = NaNO_3 + AgI\downarrow \text{黄色}$$

实践活动

现在有三瓶没有标签的试剂，分别盛氯化钠、溴化钠、碘化钠三种物质。请你设计实验，只用一种试剂，将它们区别出来。

（1）用于区别三种物质的试剂是_____ 。

（2）实验方案：_____。

（3）观察到的现象和结论：_____。

第五节　原子结构与化学键

化学与生活

癌症是一种严重威胁人类身体健康的疾病。早期发现，可用手术切除的办法治疗。如果晚期或因其他原因无法进行手术时，可用放射治疗法。$^{60}_{27}Co$ 是放射治疗癌症应用最广泛的一种同位素。

$^{14}_{6}C$ 通常被人们称为考古学的时钟。利用动、植物残骸中 $^{14}_{6}C$ 含量的多少可以确定动、植物的死亡时间，从而确定被发掘的古代遗址和古生物的年龄。

用 $^{60}_{27}Co$ 对农作物的种子、植株或其他器官进行辐射，在射线的作用下，引起农作物内部遗传性的改变，产生各种各样的变异，经过几代的选择和培育，就可以获得高产的新产品。

$^{60}_{27}Co$ 和 $^{14}_{6}C$ 分别是钴元素和碳元素的同位素。很多元素都具有同位素，随着科学的发展，同位素在能源、地质、医疗、环保、农业等众多领域发挥着重要作用。什么是同位素？下面从原子的结构开始来认识元素的同位素。

一、原子的结构与同位素

（一）原子的组成

原子由位于原子中心带正电荷的原子核和核外绕核做高速运动的带负电荷的电子组成。原子核所带的正电荷与核外电子所带负电荷总数相等，所以整个原子不显电性，为电中性。

核电荷数 = 核内质子数 = 核外电子数

原子核在原子内部所占有的体积很小，可以这样比喻：“原子像地球，原子核像乒乓球。”原子核由若干个质子和若干个中子组成。质子和中子的绝对值量很小，计算时非常不方便。因此，采用相对质量，即用 C—12 的一个原子的绝对质量的 1/12 作为比较标准，而测得质子和中子的相对质量分别为 1.007 和 1.008。核外电子的相对质量更小，仅为1/1836。因此，虽然原子核在原子内部所占体积极小，但却几乎占有原子的全部质量。如果我们忽略

电子的质量，将原子核内所有的质子和和中子的相对质量取近似整数值相加，所得的数值称为质量数，用符号 A 表示，质子数用 Z 表示，中子数用 N 表示，则 $A=Z+N$。例如，$^{40}_{20}Ca$ 原子中，质子数 Z 为 20。质量数 A 为 40。中子数 N = 质量数 A − 质子数 Z = 20。因为是原子，所以核外电子数 = 核内质子数 Z = 20。

（二）同位素

我们知道，元素是具有相同核电荷数即质子数相同的同一类原子的总称。也就是说，同种元素质子数必须相同。中子数是否必须相同呢？科学研究证明，中子数不一定相同。例如，氢元素就有三种不同的原子，它们所含的质子数相同，而中子数不同，如表 4-1 所示。

表 4-1　氢元素三种不同的原子

名称	符号	俗称	中子数	质子数	核电荷数	质量数
氕	$^{1}_{1}H$ 或 H	氢	0	1	1	1
氘	$^{1}_{2}H$ 或 D	重氢	1	1	1	2
氚	$^{1}_{3}H$ 或 T	超重氢	2	1	1	3

我们把质子数相同而中子数不同的同种元素的不同原子称为同位素。许多元素都有同位素。例如，氯元素有 $^{35}_{17}Cl$ 和 $^{37}_{17}Cl$ 两种同位素，碳元素有 $^{12}_{6}C$、$^{13}_{6}C$ 和 $^{14}_{6}C$ 三种同位素。同种元素的各种同位素虽然质量数不同，但它们的化学性质几乎完全相同。

二、核电子的运动及排布

原子核外电子的运动与我们认识的宏观世界物体的运动不同，具有自己的特点：

（1）带负电荷，质量小（$9.1095\times10^{-31}kg$）。

（2）运动范围很小（直径约为 $10^{-10}m$）。

（3）运动速度很快，接近光速（$3\times10^{8}m/s$）。因此，我们不能确定它在某一时刻的位置，不能像宏观物体一样用时间和速率描述其运动轨迹。但是，我们可以通过指出电子在原子核外空间某处出现机会的多少来描述其运动。

电子在核外空间一定范围内的出现，就好像是在原子核周围笼罩上带负电荷的云雾，我们形象地称它为电子云。通常用小黑点的疏密来表示电子云密度的大小，即电子出现机会的多少。电子云密度大的区域表示电子在那里出现的机会多。图 4-1 是氢原子的电子云示意图。

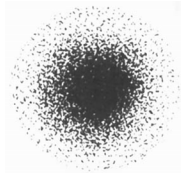


图 4-1　氢原子的电子云示意图

含有多个电子的原子里，由于电子的能量不相同，因此运动的区域也不相同。能量低的，通常在离核较近的区域运动；能量高的，通常在离核较远的区域运动。原子核外电子的排布遵循一定规律：

（1）遵循能量最低原理，即电子先排布在能量最低的电子层里，然后依次排布在能量逐步升高的电子层里。

（2）原子核外各电子层最多容纳 $2n^2$ 个电子。

（3）原子最外层电子数目不能超过 8 个。

（4）次外层电子数目不能超过 18 个，倒数第三层电子数目不能超过 32 个。上述排布规律是相互联系的，不能孤立理解。

三、元素周期律与元素周期表

（一）元素周期律

为了认识元素间的相互关系和内在规律，现将 3～18 号元素的核外电子排布、原子半径和主要化合价列于表 4-2 中，并加以讨论。

表 4-2　3～18 号元素的核外电子排布、原子半径和主要化合价

核内质子数	3	4	5	6	7	8	9	10
元素符号	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
元素名称	锂	铍	硼	碳	氮	氧	氟	氖
核外电子排布	)) 2 1))	)) 2 2))	)) 2 3))	)) 2 4))	)) 2 5))	)) 2 6))	)) 2 7))	)) 2 8))
原子半径（nm）	0.152	0.089	0.082	0.077	0.075	0.074	0.071	0.160
主要化合价	+1	+2	+3	+4 -4	+5 -3	-2	-1	0
核内质子数	11	12	13	14	15	16	17	18
元素符号	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
元素名称	钠	镁	铝	硅	磷	硫	氯	氩
核外电子排布	))) 2 8 1)))	))) 2 8 2)))	))) 2 8 3)))	))) 2 8 4)))	))) 2 8 5)))	))) 2 8 6)))	))) 2 8 7)))	))) 2 8 8)))
原子半径（nm）	0.186	0.160	0.143	0.117	0.110	0.102	0.099	0.191
主要化合价	+1	+2	+3	+4 -4	+5 -3	- +6 -2	+7 -1	0

由表 4-2 看出，随着质子数的递增，元素的一些性质呈现周期性的变化，即每隔一定数目的元素之后，又出现了与前面元素相类似的性质。这种周期性变化的规律总结如下。

1. 核外电子排布的周期性变化

原子序数从 3～10 的元素，即从锂到氖，有 2 个电子层，最外层电子数从 1 个递增到 8 个，达到稳定结构。原子序数从 11～18 的元素，即从钠到氩，有 3 个电子层，最外层电子数也从 1 个递增到 8 个，达到稳定结构，即随着原子序数的递增，元素的原子的最外层电子排布呈周期性的变化。

2. 原子半径的周期性变化

从锂到氟，随着质子数的递增，原子半径逐渐变小。从钠到氯，随着质子数的递增，同样也是原子半径逐渐变小，即随着质子数的递增，元素的原子半径发生周期性变化。

3. 元素主要化合价的周期性变化

从锂到氟，再从钠到氯，元素的正化合价都是从 +1 价依次变到 +7 价（氧和氟除外），非金属元素的负化合价都是从 -4 价依次变到 -1 价，即随着质子数的递增，元素主要化合

价呈周期性变化。

通过上面的讨论可以得到：元素的性质随着质子数（核电荷数）的递增呈现周期性变化的规律，称为元素周期律。这个规律是俄国化学家门捷列夫于 1869 年发现的。

（二）元素周期表

元素周期表（如彩插所示）是元素周期律的具体表现形式。元素周期表是根据元素周期律，将已知的 110 余种元素中电子层数相同的各元素，按质子数递增的顺序从左到右排成横行，再将不同横行中最外层电子数相同、性质相似的元素，按电子层递增的顺序从上而下排成纵行而制成的表。

1. 元素周期表的结构

1）周期

元素周期表中共有 7 个横行，每个横行称为一个周期，即共有 7 个周期。依次用 1，2，3，…，7 表示。周期序数与该周期元素原子所具有的电子层数相等。

根据各周期内所含元素的数目不同将周期分为三类：第 1、2、3 周期分别含有 2、8、8 种元素，所含元素较少，称为短周期；第 4、5、6 周期分别含有 18、18、32 种元素，所含元素较多，称为长周期；未填满的第 7 周期称为不完全周期。

第 6 周期中，从 57 号元素镧（La）到 71 号元素镥（Lu）共 15 种元素，它们的电子层结构和性质非常相似，总称为镧系元素；第 7 周期中，从 89 号元素锕（Ac）到 103 号元素铹（Lr）共 15 种元素，它们的电子层结构和性质也非常相似，总称为锕系元素。为了使周期表的结构紧凑，将镧系元素、锕系元素分别放在周期表的相应周期的同一格里，并按质子数递增的顺序分列两个横行附在周期表下方。

2）族

元素周期表中共有 18 个纵行，除第 8、9、10 三个纵行为第Ⅷ族外，其余每个纵行称为一族。周期表中共有 16 个族。族可分为主族、副族、第Ⅷ族和 0 族。

（1）主族：由长周期元素和短周期元素共同组成。共有 7 个主族，分别用ⅠA、ⅡA、ⅢA、ⅣA、ⅤA、ⅥA、ⅦA 表示。主族的族序数等于该主族元素原子的最外层电子数。

（2）副族：完全由长周期元素构成。共有 7 个副族，分别用ⅠB、ⅡB、ⅢB、ⅣB、ⅤB、ⅥB、ⅦB 表示。

（3）第Ⅷ族：由 9 种金属元素组成。常见的铁元素及稀有金属元素铂均在此族。

（4）0 族：由稀有气体元素构成的族。

2. 元素周期表中元素性质的递变规律

（1）原子半径递变规律。相邻两个原子的原子核间的距离为原子半径。同周期元素的原子半径从左至右逐渐变小，最后，稀有气体的原子半径突然增大；同主族元素的原子半径从上至下逐渐增大。

（2）金属性递变规律。元素的原子失去电子形成阳离子的性质称为金属性。通常，用元素的单质与水或酸起反应，置换出氢气的难易程度以及元素最高价氧化物的水化物（氢氧化物）的碱性强弱来判断元素金属性的强弱。同周期元素从左至右，金属性逐渐减弱；同主族元素从上至下，金属性逐渐增强。

（3）非金属性递变规律。元素的原子获得电子形成阴离子的性质称为非金属性。通常用元素的单质与氢气反应，生成气态氢化物的难易程度以及元素最高价氧化物的水化物（含氧酸）的酸性强弱来判断元素非金属性的强弱。同周期元素从左至右，非金属性逐渐增强；同主族元素从上至下，非金属性逐渐减弱。

元素周期表中，主族元素性质的递变规律如表 4-3 所示。

表 4-3　主族元素性质的递变规律

族 周期	ⅠA	ⅡA	ⅢA	Ⅳ	ⅤA	ⅥA	ⅦA	
1	非金属性逐渐增强，原子半径逐渐减小 →							
2	金属性渐强，原子半径渐大 ↓	Li	Be	B	C	N	O	F ↑ 原子半径渐小，非金属性渐强
3		Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl
4		K	Ca	Ga	Ge	As	Se	Br
5		Rb	Sr	In	Sn	Sb	Te	I
6		Cs	Ba	Tl	Pb	Bi	Po	At
7		Fr	Ra					
	← 金属性逐渐增强，原子半径逐渐增大							



元素周期律和周期表，揭示了元素之间的内在联系，反映了元素性质与它的原子结构的关系，在哲学、自然科学、生产实践各方面都有重要意义。

在哲学方面，元素周期律揭示了元素原子核电荷数递增引起元素性质发生周期性变化的事实，有力地论证了事物变化的量变引起质变的规律性；反映了元素间的内在联系，打破了曾经认为元素是互相孤立的形而上学观点。

在自然科学方面，周期表为发展物质结构理论提供了客观依据。原子的电子层结构与元素周期表有密切关系，周期表为发展过渡元素结构、镧系和锕系结构理论、甚至为指导新元素的合成、预测新元素的结构和性质都提供了线索。元素周期律和周期表在自然科学的许多部门，首先是化学、物理学、生物学、地球化学等方面，都是重要的工具。

由于在周期表中位置靠近的元素性质相似，这就启发人们在周期表中一定的区域内寻找新的物质。

（1）农药多数是含 Cl、P、S、N、As 等元素的化合物。

（2）半导体材料都是周期表里金属与非金属接界处的元素，如 Ge、Si、Ga、Se 等。

（3）催化剂的选择：人们在长期的生产实践中，已发现副族和Ⅷ的元素对许多化学反应有良好的催化性能。于是，人们努力在这些元素中寻找各种优良催化剂。例如，目前人们已能用铁、镍溶剂做催化剂，使石墨在高温和高压下转化为金刚石。

（4）耐高温、耐腐蚀的特种合金材料的制取：在周期表里从ⅢB 到ⅥB 的元素，如钛、钽、钼、钨、铬，具有耐高温、耐腐蚀等特点。它们是制作特种合金的优良材料，是制造火箭、导弹、宇宙飞船、飞机、坦克等的不可缺少的金属。

（5）矿物的寻找：地球上化学元素的分布跟它们在元素周期表里的位置有密切的联系。科学实验发现如下规律：相对原子质量较小的元素在地壳中含量较多，相对原子质量较大的元素在地壳中含量较少；偶数原子序的元素较多，奇数原子序的元素较少。处于地球表面的元素多数呈现高价，处于岩石深处的元素多数呈现低价；碱金属一般是强烈的亲石元素，主要富集于岩石圈的最上部等。

四、化学键和分子极性

迄今为止，人们已经发现了 110 余种元素，正是这些元素的原子组成了不同的物质。这些物质的分子是由原子构成的。原子之间是怎样构成分子的呢？让我们继续介绍化学键的知识。



请对下面的问题进行讨论和交流：

我们知道，常温、常压下，水的沸点是 100℃。实验证明，通常条件下要使水分解成氢气和氧气需要加热至 1000℃，加热温度低于 1000℃不行，为什么？

原子之间之所以能够相互结合，是因为在它们之间存在着某种相互作用力，这种分子中相邻的两个或多个原子（或离子）之间强烈的相互作用，称为化学键。化学键主要有离子键、共价键和金属键三类。本节主要介绍离子键和共价键。

（一）离子键和离子化合物

1. 离子键的形成

下面以金属钠在氯气中剧烈反应，生成氯化钠为例介绍离子键的形成。

$$2Na + Cl_2 \xlongequal{} 2NaCl$$

（1）发生电子转移形成离子。钠原子最外层只有一个电子，极易失去，形成带 1 个正电荷的 Na^+；氯原子最外层有 7 个电子，很容易从外界获得 1 个电子，形成带 1 个负电荷的 Cl^-。在反应中钠原子失去一个电子，转移给了氯原子，钠原子变成了钠离子。氯原子得到钠原子给的一个电子后变为氯离子。

$$Na - e \rightarrow Na^+$$

$$Cl + e \rightarrow Cl^-$$

（2）阴阳离子靠静电作用形成离子键。具有稳定结构的 Na^+ 和 Cl^- 会在静电引力作用下相互吸引。Na^+ 和 Cl^- 之间除了有静电吸引力外，还有电子之间、原子核之间的相互排斥作用。当吸引力与排斥力达平衡时，阴阳离子之间就形成了离子键。这种阴阳离子通过静电作用而形成的化学键称为离子键。由离子键形成的化合物称为离子化合物。

$$Na^+ + Cl^- \rightarrow Na^+\ Cl^-$$

2. 离子键的特性

离子键没有方向性和饱和，只要空间允许，每个离子可以同时在空间的各个方向上与多个带相反电荷的离子相互吸引而成键。例如，在 NaCl 晶体中，每个 Na^+ 周围吸引 6 个 Cl^-，每个 Cl^- 周围吸引 6 个 Na^+，这样交替延伸有规律地排列成晶体。因此，化学式 NaCl 表示

的是在氯化钠中氯和钠两种元素间原子的比。NaCl 是氯化钠的化学式，而不是分子式。在离子化合物的晶体中，不存在单个的分子。

活泼的金属（如钾、纳、钙等）与活泼的非金属（如氯、溴、氧等）化合时，都能形成离子键。大多数的盐、碱和部分金属氧化物是离子化合物，如 $CaCl_2$、$ZnSO_4$、NaOH、CaO 等。



你能否在固体氯化钠晶体中找出单一的氯化钠分子？你如何理解氯化钠的分子式？

（二）共价键和共价化合物

1. 共价键的形成

下面以氢分子为例来说明共价键的形成。氢原子核外只有一个电子，当一个氢原子与另一个氢原子相互作用时，由于它们得失电子的能力相同，谁都不可能从对方处得到电子，因此只有双方各提供 1 个电子，组成一对共用电子对，同时为两个氢原子所共用，使两个氢原子的电子层都达到稳定结构。

像氢分子那样，原子间通过共用电子对而形成的化学间，称为共价键。全部由共价键形成的化合物为共价化合物，如 H_2O、N_2、O_2、NH_3。共价键广泛存在于非金属单质、共价化合物（如有机化合物）里。在确定共价化合物中各元素化合价时，元素的化合价是该元素一个原子与其他原子间共用电子对的数目。

2. 共价键的特征

（1）具有饱和性：形成共价键的条件是成键的原子必须有未成对的电子，一个原子有几个未成对的电子就可以与几个未成对电子配对成键，当形成共价键后，就不能再和其他电子配对成键。

（2）具有方向性：电子云有一定的形状和一定的空间伸展方向，共价键形成是原子的未成对电子进行配对即电子云发生的重叠，重叠时必须沿着电子云密度最大的方向进行。

3. 共价键的类型

按成键原子之间电荷分布情况的不同，共价键可分为两种。

（1）非极性键：共用电子对不偏向成键原子的任何一方。形成这种键的两个原子吸引电子的能力相同即两个原子是同种元素的两个原子，如 H_2、O_2、N_2、I_2均属于非极性键。

（2）极性键：共用电子对偏向成键原子的一方而远离另一方。形成这种键的两个原子吸引电子的能力不相同即两个原子是不同种元素的两个原子，如 HF、HI、HCl 等。

拓展与提高

共价键的键参数

键长、键角和键能是表征共价键性质的一些物理量。键长是指分子中两个成键的原子核

间的平均距离，键长越短，键越牢固。键角是指分子中两个相邻共价键之间的夹角，它可以确定分子的空间结构。键能是在气态下，使1mol共价键断裂所需要的能量，键能越大，键越牢固。

拓展与提高

共价化合物的分子极性

分子是不显电性的，但分子内部电荷分布情况是不同的，因此可将共价化合物的分子分为非极性分子和极性分子两种。非极性分子是分子内正、负电荷重心重合的分子。极性分子是分子内正、负电荷重心不重合的分子。以非极性键结合的双原子分子是非极性分子。以极性键结合的双原子分子是极性分子。多原子分子的极性除与键的极性有关外，还与分子的空间构型有关。情况很复杂。

课堂讨论

（1）请判断：共价化合物只存在共价键，离子化合只存在离子键。

（2）共价键可分为极性共价键和非极性共价键，极性共价键与离子键之间是否有严格的界限？它们之间有什么内在的联系？

（三）分子间作用力与氢键

前面介绍的化学键是原子与原子之间的强烈相互作用力，并且能量较高，约为100～800kJ·mol^{-1}。实际上，除了原子与原子之间有强烈的相互作用力外，在分子与分子之间也存在着一种作用力，但这种作用力能量较小，只有几到几十kJ·mol^{-1}。我们将这种分子与分子之间的作用力称为分子间作用力。由于它最早是荷兰物理学家范德华提出的，因此又称它为范德华力。

化学键是决定物质化学性质的主要因素，分子间作用力是决定物质物理性质的主要因素。结构相似的物质，其分子量越大，分子间作用力越强，物质的熔点、沸点越高。例如，表4-4给出ⅦA族元素氢化物的沸点比较，HCl、HBr、HI分子量依次增大，表中数据显示HCl、HBr、HI沸点依次升高。

表4-4　ⅦA族元素氢化物的沸点比较

氢化物	HF	HCl	HBr	HI
分子量	20	36.5	80.9	127.9
沸点（℃）	20	－85	－67	－36

在表4-4中，HF的沸点有些反常，按照分子间作用力解释，结构相似的物质，其分子量越大，分子间作用力越强，物质的熔点、沸点越高。HF的沸点应低于HCl、HBr、HI，但实际上HF的沸点却最高，这说明在HF分子之间除了存在分子间作用力外，还存在一种特殊的分子间作用力，这就是氢键。

非金属性很强且半径很小的原子（如N、O、F）与氢形成氢化物，由于吸引电子的能力相差悬殊，共用电子对强烈偏向那些非金属性强且半径小的原子，使得氢原子几乎呈质子状态，这样氢原子就可以与另一分子已与氢原子成键的非金属原子产生静电吸引作用，这种

引力称为氢键。氢键不是化学键，它是一种特殊的分子间作用力。



结构相似的物质，其分子量越大，分子间的作用力越强，物质的熔点、沸点越高。但是，H_2O 的分子量小于 H_2S，而 H_2O 的沸点却高于 H_2S；NH_3 的分子量小于 PH_3，但 NH_3 的沸点却高于 PH_3。你能解释这种异常的现象吗？



一、非金属单质

重要的非金属单质	Cl_2	Br_2	N_2	S
元素在周期表中的位置				
原子的结构特征				
主要的化学性质	1. 与金属反应 2. 与非金属反应 3. 与水反应 4. 与碱反应 5. 卤素之间的置换反应			1. 与金属反应 2. 与非金属反应

二、非金属氧化物

包括的元素	N		S	
重要的氧化物	NO	NO_2	SO_2	SO_3
物理性质				
化学性质			1. 制备 2. 与氧气反应 3. 与水反应	

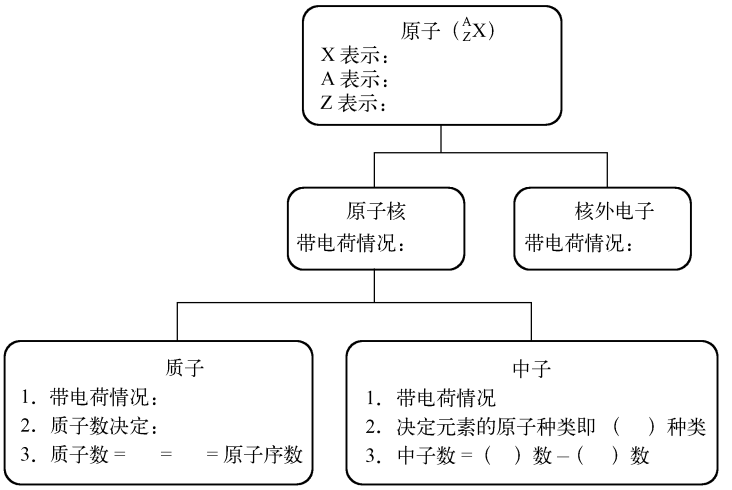
三、非金属氢化物

包括的元素	N	S	Cl
对应的氢化物	NH_3	H_2S	HCl
物理性质			
化学性质	1. 制备 2. 与水反应 3. 与酸反应		
相关离子检验	NH_4^+	S^{2-} 在含有 S^{2-} 的溶液中，滴加稀盐酸或稀硫酸，生成无色、有臭鸡蛋气味的气体，该气体能使湿润的醋酸铅［$Pb(Ac)_2$］试纸变黑	Cl^-

四、重要的酸

重要的酸	HCl	HNO_3	H_2SO_4
物理性质			
主要的化学性质	1. 与金属反应 2. 与金属氧化物反应 3. 与盐反应 4. 与碱反应 5. 与酸碱指示剂反应		
浓酸特殊性			
离子检验	Cl^-	NO_3^- 在浓硫酸存在时，与硫酸亚铁反应出现棕色环	SO_4^{2-}

五、原子的组成



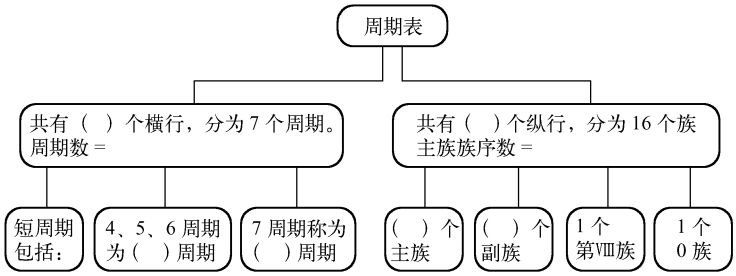
六、原子核外电子的排布

原子核外电子排布规律	1. 能量最低原理：
	2. 各层最多容纳的电子个数：
	3. 最外层电子数不超过（ ）个；次外层电子数不超过（ ）个；倒数第三层的电子数（ ）

七、元素周期律和元素周期表

（1）元素的性质随着质子数（核电荷数）的递增呈现周期性变化的规律称为元素周期律。原子核外电子排布的周期性变化是元素周期律的本质。

（2）周期表的结构。

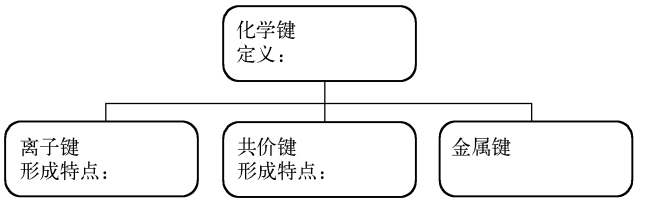


八、元素周期表中元素性质的递变规律

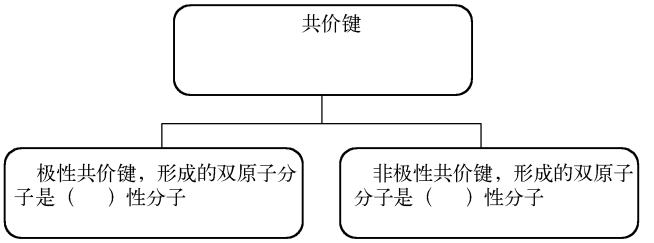
位置 / 结构和性质	同一周期从左至右	同一主族从上至下
电子层结构 原子半径 金属性	电子层数（　　） 最外层电子数（　　）	电子层数（　　） 最外层电子数（　　）
非金属性		

九、化学键

1．化学键分类及特点



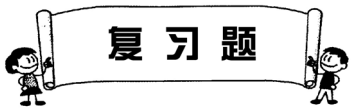
2．共价键极性与分子极性



3．分子间作用力与氢键

（1）分子间作用力又称为范德华力，是分子与分子之间的作用力，是决定物质物理性质的主要因素。

（2）氢键是一种特殊的分子间作用力。形成氢键的条件是，必须有 H 和非金属性强且原子半径小的 F、O 或 N。



一、填空题

1．元素周期表有_____个横行，分为 _____个周期，其中有_____个短周期，有 _____个长周期，有 _____个不完全周期；元素周期表有 _____个纵行，分为 _____个族，其中有 _____个主族，有 _____个副族，有_____个Ⅷ族，有 _____个 0 族。

2．同周期元素的原子，在原子结构上具有相同的_____ ，它们的性质从左至右，金属性逐渐 _____ ，非金属性逐渐_____ 。

3．下列反应应用硫酸的什么性质？请填写在横线上。

（1）用浓硫酸干燥氯气。_____

（2）锌和稀硫酸反应制取氢气。_____

（3）浓硫酸加在白糖里，白糖变黑。_____

（4）浓硫酸与铜在加热的条件下制取二氧化硫。_____

4. 氨是_____色有_____味的气体，易溶于水，其水溶液称为_____，水溶液显_____性。原因是：_____ 。

5. 浓硝酸具有_____性，见光易分解，因此硝酸应储存在_____色的试剂瓶中，并放在_____处。

6. 元素的性质随着元素质子数的递增而呈周期性变化的规律称为 _____ 。

7. 某元素 M^{2+} 的核外电子数为 18，则该元素是_____元素，该元素的原子质量数为 40，其质子数有 _____个，中子数有_____个。

二、选择题

1. 下列化合物中只含有离子键的是（　　）；只含有共价键的是（　　）；既含有离子键又含有共价键的是（　　）。

A. N_2　　B. Fe　　C. NaI　　D. NaOH

2. 下列对氯离子 $^{37}_{17}Cl^-$ 的叙述中错误的是（　　）。

A. 质子数为 17　　B. 核电荷数为 17

C. 质量数为 37　　D. 中子数为 20

3. 下列互为同位素的一组是（　　）。

A. $^{37}_{17}Cl^-$ 和 $^{37}_{17}Cl$　　B. $^{16}_{8}O$ 和 $^{18}_{8}O$　　C. $^{40}_{19}K$ 和 $^{40}_{20}Ca$　　D. $^{56}_{26}Fe$ 和 $^{56}_{26}Fe^{3+}$

4. 决定元素种类的是（　　）。

A. 质子数　　B. 中子数　　C. 质量数　　D. 最外层电子数

5. 下列物质中有毒的是（　　）。

A. CO_2　　B. N_2　　C. H_2S　　D. HCl

6. 元素化学性质发生周期性变化的根本原因是（　　）。

A. 元素的原子半径呈周期性变化

B. 元素的化合价呈周期性变化

C. 元素的原子核外电子的排布呈周期性变化

D. 元素的核电荷数的增多

7. 同周期元素从左至右不发生变化的是（　　）。

A. 原子半径　　B. 电子层数　　C. 化合价　　D. 核电荷数

8. 下列关于同主族元素从上至下性质递变的叙述中正确的是（　　）。

A. 原子半径逐渐增大　　B. 电子层数不变

C. 非金属性逐渐增强　　D. 金属性逐渐减弱

9. 下列关于 SO_2 的叙述中正确的是（　　）。

A. 能使品红溶液退色　　B. 具有臭鸡蛋的气味

C. 无色无味的气体　　D. 是硫酸的酸酐

10. 下列各组中电子数相同的是（　　）。

A. Na^+ 和 Na　　B. Mg 和 Al　　C. Na^+ 和 Mg^{2+}　　D. O 和 Na

11. 我国城市环境中的大气污染物主要是（　　）。

A. SO_2、N_2、CO_2　　B. SO_2、NO_2、CO_2

C. SO_2、NO_2、可吸入颗粒物　　D. SO_2、N_2、可吸入颗粒物

12. 下列各组物质间能发生置换反应的是（　　）。

A. I_2和 KCl　　B. Cl_2和 KI　　C. Br_2和 NaCl　　D. I_2和 KBr

13. 下列关于硝酸的叙述中错误的是（　　）。

A. 浓硝酸和稀硝酸都是强酸

B. 浓硝酸具有氧化性，稀硝酸不具有氧化性

C. 稀硝酸与铁反应，不与铜反应

D. 浓硝酸和稀硝酸都是强氧化剂

三、判断题

1. 氯气可消毒的原因是：氯气与水反应生成盐酸。（　　）

2. 离子化合物中可能有共价键。（　　）

3. 所有元素的原子都是由中子、质子和电子三种微粒构成的。（　　）

4. 铵盐与碱共热生成氨气，利用该性质可检验铵盐的存在。（　　）

5. 氮气化学性质稳定，不与其他物质发生化学反应。（　　）

6. 主族是由短周期元素和长周期元素组成的。（　　）

7. 浓硫酸和稀硫酸均有氧化性。（　　）

8. 原子核内中子数决定原子的种类。（　　）

9. 将浓硫酸置露在空气里，质量会增加。（　　）

10. 质子数相同、中子数不同的微粒互称为同位素。（　　）

四、简答题

1. 请按由弱到强的顺序将下列碱进行排序，并简要说明理由。

A. KOH　　B. NaOH　　C. $Mg(OH)_2$　　D. $Al(OH)_3$

2. 请按由弱到强的顺序将下列酸进行排序，并简要说明理由。

A. HNO_3　　B. H_2CO_3　　C. HF　　D. $HAlO_2$

五、完成下列反应

1. $NaCl \rightarrow HCl \rightarrow Cl_2 \rightarrow HClO$

2. $S \rightarrow SO_2 \rightarrow H_2SO_4 \rightarrow CuSO_4 \rightarrow FeSO_4 \rightarrow BaSO_4$

3. $N_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow NO \rightarrow NO_2 \rightarrow HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2$

第五章　与土壤、饲料分析有关的容量分析

本章学习要点

- 了解滴定分析法的特点和主要方法。
- 了解滴定分析方法对化学反应的要求。
- 了解滴定分析误差和有效数字的运算规则。
- 掌握酸碱滴定分析方法。
- 了解氧化还原滴定法等其他的滴定分析方法。

因为土壤里有机质的含量是决定土壤持久性肥力的重要标志，所以测定土壤有机质的含量具有重要意义。测定土壤里有机质的含量有很多种方法，其中用得最多的是以重铬酸钾作为氧化剂，与土壤里的有机质发生氧化还原反应，再用滴定分析法。氧化性强的重铬酸钾在酸性溶液里与土壤中有机质的碳发生氧化还原反应，它们之间存在定量关系。再用标准还原剂（如硫酸亚铁铵）滴定多余的氧化剂（重铬酸钾），经过换算，就能求得土壤里有机质的含量。滴定分析法在土壤的普查、饲料的配比与检验等方面都具有重要的作用。

第一节　滴定分析法概述

一、滴定分析法的特点和主要方法

将一种已知准确浓度的试剂溶液滴加到被测物质溶液中，直到化学反应定量地完成时为止，然后根据所用试剂溶液的浓度和体积计算被测物质组分的含量，这种方法称为滴定分析法。滴定分析法是化学分析法中的重要分析法之一。

已知准确浓度的试剂溶液称为标准溶液。被测物质的溶液称为试液。滴定管滴加已知准确浓度试剂溶液的操作称为滴定。当加入的标准溶液与被测物质的组分完全反应时，则达到化学计量点。化学计量点一般是用外加试剂的颜色改变来判断的，这种借颜色改变来判断化学计量点的试剂称为指示剂。在滴定过程中，指示剂正好发生颜色变化的转变点，称为滴定终点。滴定终点与化学计量点不一定恰好符合，由此而造成的分析误差称为终点误差。终点误差的大小主要决定于指示剂的性能，所以在滴定分析中，对指示剂的选择是至关重要的。

滴定分析法主要适用于含常量组分的测定，其测定的准确度较高，一般相对误差为0.1%～0.2%，并具有简便、快速的优点。滴定分析方法根据化学反应的类型不同，主要分为下述四类。

（1）酸碱滴定法：是以酸碱中和（质子传递）反应为基础的分析方法。本法主要用于测定酸、碱、弱酸或弱碱盐。在农牧业分析中，常用来分析氮、磷、碳酸盐等的含量。

（2）氧化还原滴定法：是以氧化还原（电子转移）反应为基础的分析方法。在农牧业分析中，常用来测定土壤、肥料中的铁、钙、有机质等。

（3）配位滴定法：是以配位反应为基础的分析方法。在农牧业分析中，常用来测定试样中钙、镁等的含量。

（4）沉淀滴定法：是以沉淀反应为基础的分析方法。在农牧业分析中，常用来分析试样中氯、溴等的含量。



滴定分析法

18 世纪，硫酸、盐酸、苏打和氯水是化学工业的中心产品。当时，如果这些化工产品在质量上有任何差错，都会给使用部门造成极大的损失。因此，各个化工厂必须对它的产品质量有所保证，质量检验的问题很自然地被提出来了，急需一些实用的化学分析方法。由于工业生产是不允许拖延的，所以它需要的是快速和简易的分析方法。当时，流行的重量分析法无法满足这个要求，因而滴定法便迅速发展起来了。这种方法基础是，完成某种反应所需要的某种试剂的量是固定的，因为对于某种试剂消耗量的测定，既可以称量，也可以通过容量进行，所以最早形成了滴定法的两个分支，分别称为容量分析和重量分析。

早在 1685 年，格劳贝尔曾在介绍用硝酸和锅灰制造硝石的经过时说，逐滴地将硝酸加到锅灰碱中，直到加入硝酸后不再发生气泡时，这两种物质就成功合成了。由此可见，在这时已经有了反应中和点的概念。1729 年，法国人日夫鲁瓦首次将中和反应用在分析物质上。当时，他为了测定醋酸的浓度，以碳酸钾为基准物，将醋酸逐滴加其中，以气泡停止产生为滴定终点，用消耗的碳酸钾来计算出醋酸相对浓度。

1750 年，法国的富朗索瓦在分析矿泉水时，以硫酸滴定矿泉水，再加入一种紫罗兰浸液作为指示剂，滴定直到溶液刚刚变红为止，然后再以融化的雪水进行对照滴定来判断矿泉水的含碱量。这一方法已接近滴定法了。直到 1786 年，法国人德克劳西率先采用了体积量度的方法进行锅灰碱的检验，并且发明了第一支标有刻度的滴定管，他称之为“碱量记”。1806 年，德克劳西出版了《商品碱的报告》，标志着体积量度原则的开始。

由此可见，在 18 世纪末和 19 世纪初，酸碱滴定的原始形式和基本原则已经确定，但发展不快。直到 19 世纪 70 年代以后，在人工合成指示剂出现以后，酸碱滴定法才获得了较大的应用价值，扩大了应用范围。

二、滴定分析法对化学反应的要求

滴定分析法对化学反应的要求，适用于滴定分析法的化学反应，必须符合下列条件。

（1）反应必须定量完成。被测物质与标准溶液之间的反应要按一定的化学反应式进行，而且反应进行完全（要求达到 99.9% 以上）。这是定量计算的基础。

（2）反应能迅速地完成。对于反应速度较慢的反应，可通过加热或加催化剂等办法来加快反应速度。

（3）滴定溶液中不能有干扰主反应的杂质存在，否则必须用适当的方法分离或掩蔽。

（4）有适当的方法来指示化学计量点。绝大多数的滴定分析是选用指示剂来判断化学计量点的。

滴定方式

凡能满足上述要求的反应，都可用直接滴定法，即用标准溶液直接滴定待测物质。直接滴定法是滴定分析中最基本的滴定方法。

但是，有些反应不能完全符合上述要求，因而不能采用直接滴定法。遇到这种情况时，可采用下述几种方法进行滴定。

（1）返滴定法。当试液中待测物质与滴定剂反应很慢（如 Al^{3+} 与 EDTA 的反应），或者用滴定剂直接滴定固体试样（如用 HCl 溶液滴定固体 $CaCO_3$）时，反应不能立即完成，故不能用直接滴定法进行滴定。此时，可先准确地加入过量标准溶液，使与试液中的待测物质或固体试样进行反应，待反应完成后，再用另一种标准溶液滴定剩余的标准溶液，这种滴定方法称为返滴定法。对于固体 $CaCO_3$ 的滴定，加入过量 HCl 标准溶液后，剩余的 HCl 可用标准 NaOH 溶液返滴定。

（2）置换滴定法。当待测组分所参与的反应不按一定反应式进行或伴有副反应时，不能采用直接滴定法。可先用适当试剂与待测组分反应，使其定量地置换为另一种物质，再用标准溶液滴定这种物质，这种滴定方法称为置换滴定法。例如，$Na_2S_2O_3$ 不能用来直接滴定 $K_2Cr_2O_7$ 及其他强氧化剂，因为在酸性溶液中，这些强氧化剂将 $S_2O_3^{2-}$ 氧化为 $S_4O_6^{2-}$ 及 SO_4^{2-} 等的混合物，反应没有定量关系。但是，$Na_2S_2O_3$ 却是一种很好的滴定 I_2 的滴定剂，如果在 $K_2Cr_2O_7$ 的酸性溶液中加入过量 KI，使 $K_2Cr_2O_7$ 还原并产生一定量 I_2，即可用 $Na_2S_2O_3$ 进行滴定。这种滴定方法常用于以 $K_2Cr_2O_7$ 标定 $Na_2S_2O_3$ 标准溶液的浓度。

（3）间接滴定法。不能与滴定剂直接起反应的物质，有时可以通过另外的化学反应，以滴定法间接进行测定。例如，将 Ca^{2+} 沉淀为 CaC_2O_4 后，用 H_2SO_4 溶解，再用 $KMnO_4$ 标准溶液滴定与 Ca^{2+} 结合的 $C_2O_4^{2-}$，从而间接测定 Ca^{2+}。

由于返滴定法、置换滴定法、间接滴定法的应用，大大扩展了滴定分析的应用范围。

三、滴定分析中的误差

在分析检测工作中，要求测定结果达到一定的精密度和准确度，因此，分析工作者不仅要掌握正确的实验操作方法，而且还要了解分析过程中产生误差的原因及规律性，正确地进行实验操作，减小分析过程中的误差，正确地进行实验数据处理并报告分析结果。

（一）误差的分类

测定结果与真实值之间的差值称为误差。误差有正、负，当测定值大于真实值时为正误差，当测定值小于真实值时为负误差。但客观存在的真实值不可能知道，实际工作中往往用“标准值”代替真实值。标准值是采用多种可靠的分析方法，由具有丰富经验的人员经过反复多次测定得出的比较准确的结果。按照误差的来源不同，误差可分为系统误差和偶然误差。

1. 系统误差（可测误差）

系统误差是由于某些比较确定的经常性的原因所引起的误差。它对分析结果的影响比较

固定，即误差的正、负通常是一定的，其大小也有一定的规律性，在重复测量的情况下，它有重复出现的性质，因此，其大小往往可以测出，并且还可以通过实验减小。按照误差产生的原因，系统误差可以分为下列几种。

（1）方法误差。这种误差是由于分析方法本身不够完善所造成的，如滴定分析中反应进行不完全、滴定终点与化学计量点不相符、有其他副反应发生等。

（2）仪器、试剂误差。是指由于仪器本身不准确和试剂不纯而引起的分析误差。例如，天平两臂不等长引起称量误差，砝码质量和滴定管刻度不准确、所用试剂或蒸馏水中含有杂质等均能带来误差。

（3）操作误差。一般是指正常操作条件下，由于分析人员掌握操作规程和实验条件有出入而引起的误差。例如，滴定管读数偏低或偏高、对颜色的分辨能力不够敏锐等所造成的误差。

2. 偶然误差（随机误差）

偶然误差是由于一些偶然因素所引起的误差，因此是偶然的或不能控制的。这类误差对分析结果的影响不固定，有时大，有时小，有时正，有时负。例如称量时，分析天平感量是0.1mg，几次称量同一物体，彼此之间有 ±0.1mg 的差别，这是难以避免的。同理，滴定管读数彼此常会相差 ±0.01mg。

大量的生产实践和科学实验说明，当人们对一个量进行重复很多次的测量，然后把所得结果进行统计时，发现偶然误差符合正态分布规律，如图 5-1 所示，即

（1）绝对值相等的正误差和负误差出现的机会相等。

（2）小误差出现的次数多，大误差出现的次数少，个别特别大误差出现的次数极少。

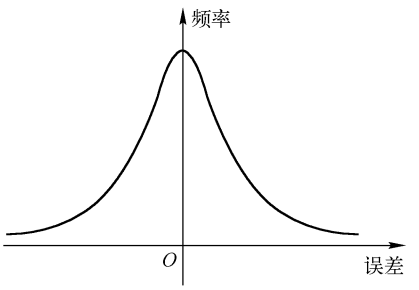


图 5-1　偶然误差正态分布曲线

注意：系统误差和偶然误差都是指正常操作的情况下所产生的误差。至于因为操作不细心而加错试剂、记错读数、溶液溅失等违反操作规程所造成的错误称为过失。“过失”不属于误差，“过失”是完全可以避免的。

课堂讨论

杆秤是民间买卖常用的一种称重工具，它是利用杠杆原理制成的。重物与秤锤的重量和杆上两边长度成反比。“大秤进，小秤出”比喻奸诈的商贩在买卖中常在秤锤上做手脚，以至于卖出的物品短斤少两，买进的长斤多两，从中渔利。秤锤的质量的增加与减少将会对物体的实际质量产生怎样的误差？

（二）减小误差的方法

1. 选择适当的分析方法

不同的分析方法有不同的准确度和灵敏度。对常量成分（含量为1%以上）的测定，可用灵敏度不太高，但准确度高（相对平均偏差小于0.2%）的重量分析法或滴定分析法；对

微量成分（含量为0.01%～1%）或痕量组分（0.01%以下）的测定，则应选用灵敏度较高仪器分析法。分光光度法检测下限甚至可达10^{-4}%～10^{-5}%的痕量物质，但分光光度法分析结果的相对平均偏差一般为2%～5%，准确度较低。因此，必须根据所要分析的样品情况及对分析结果的要求，选择适当的分析方法。

2．减少测量误差

为提高分析结果的准确度，必须尽量减小各测量步骤的误差。例如用分析天平称量，称量误差为±0.0001g，每称量一个样品必须进行两次称量，可能造成的最大误差是±0.0002g，为使称量的相对误差小于0.1%，每一个样品必须在0.2g以上。

又如，滴定管的读数有±0.01mL误差，一次滴定必须读数两次，可能造成的最大误差是±0.02mL，为使称量的相对误差小于0.1%，消耗滴定液的体积必须在20mL以上。

3．减少偶然误差

在减小系统误差的前提下，通过增加平行测定的次数，可以减小偶然误差。一般要求平行测定3～5次，取算术平均值，便可以得到较准确的分析结果。

4．减小系统误差

（1）对照试验。这是检查系统误差的有效方法。对照试验分标准样品对照试验和标准方法对照试验。

标准样品试验是用已知准确含量的标准样品与待测样品按同样的方法进行平行测定，找出校正系统以减小系统误差。

标准方法对照试验是用可靠的分析方法与被检验的分析方法，对同一试样进行分析对照。若测定结果相同，则说明被检验的样品可靠，无系统误差。

（2）空白试验。在不加样品的情况下，按照与样品相同的分析方法和步骤进行分析叫空白实验。得到的结果称为空白值。从样品分析结果中减掉空白值，可以减小由蒸馏水及实验器皿带入的杂质引起的误差，得到更接近于真实值的分析结果。

（3）校准仪器。对仪器进行校准可以减小系统误差。例如，砝码、移液管、滴定管和容量瓶等，在精确的分析中，必须进行校正，并在计算结果时采用校正值。但在日常分析中，有些仪器出厂时已经校正，在一定期间内如保管妥善，通常可以不再进行校准。

实践活动

请在实验室中准确配制浓度为0.1000mol·L^{-1}HCl和0.1000mol·L^{-1}NaOH，试分析溶液配制过程可能产生的误差，并找出减少相应误差的方法。

四、有效数据及其运算

（一）有效数据

为了取得准确的分析结果，不仅要准确测量，而且还要正确记录与计算。所谓正确记录是指记录数字的位数。因为数字的位数不仅表示数字的大小，而且也反映测量的准确程度。所谓有效数字，就是实际能测得的数字。

有效数字保留的位数，应根据分析方法与仪器的准确度来决定，一般使测得的数值中只有最后一位是可疑的。例如在分析天平上称取试样 0.5000g，这不仅表明试样的质量为 0.5000g，还表明称量的误差在 ±0.0001g 以内。如将其质量记录成 0.50g，则表明该试样是在台称上称量的，其称量误差为 0.01g，故记录数据的位数不能任意增加或减少。

拓展与提高

数字“0”在数据中有两种意义，若只起定位作用，它就不是有效数字；若作为普通数字，就是有效数字。例如，称量某物质为 0.0875g，8 前面的 2 个 0 只起定位作用，故 0.0875 为 3 位有效数字。又如，HCl 浓度为 $0.2100 mol \cdot L^{-1}$ 为 4 位有效数字。滴定管读数为 30.20，2 个 0 都是测量数据，该数据有 4 位有效数字。改换单位不能改换有效数字的位数。例如 1.0L 是 2 位有效数字，不能写成 1000mL，应写成 $1.0 \times 10^3 mL$，仍然是 2 位有效数字。

pH、pOH 、pK、lgK 等对数值，其有效数字位数仅决定于小数部分数字位数。例如，pH = 9.81 为 2 位有效数字，pKa = 9.068 为 3 位有效数字。

我国科学技术委员会正式颁布的《数字修约规则》，通常称为“四舍六入五成双”法则。四舍六入五考虑，即当被舍弃的第一位数字≤4 时舍去；被舍弃的第一位数字≥6 时进位；当被舍弃的第一位数字为 5 时，若 5 后面并非全部为零，则进位，若 5 后面无数字或全部为零，则看 5 的前位，5 前为偶数应将 5 舍去，5 前为奇数应进位。

这一法则的具体运用如下 。

（1）将 28.175 和 28.165 处理成 4 位有效数字，则分别为 28.18 和 28.16。

（2）若被舍弃的第一位数字≥6，则其前一位数字加 1，例如 28.2645 处理成 3 位有效数字时，其被舍去的第一位数字为 6，等于 6，则有效数字应为 28.3。

（3）若被舍弃的第一位数字等于 5，而其后数字全部为零时，则是被保留末位数字为奇数或偶数（零视为偶），而定进或舍，末位数是奇数时进 1，末位数为偶数时不进 1，例如 28.350、28.250、28.050 处理成 3 位有效数字时，分别为 28.4、28.2、28.0。

（4）若被舍弃的第一位数字为 5，而其后的数字并非全部为零时，则进 1，例如 28.2501，只取 3 位有效数字时，成为 28.3。

（5）若被舍弃的数字包括几位数字时，不得对该数字进行连续修约，而应根据以上各条规定做一次处理。例如 2.154546，只取 3 位有效数字时，应为 2.15，而不得按以下方法连续修约为 2.16：

2.154546→2.15455→2.1546→2.155→2.16

（二）有效数据的运算规则

（1）在加减法运算中，每数及它们的和或差的有效数字的保留，以小数点后面位数最少（最末位单位量值最大）的为标准。在加减法中，因为是各数值绝对误差的传递，所以结果的绝对误差必须与各数中绝对误差最大的那个相当。

例如：2.0375 + 0.0745 + 39.54 = ?

因为 39.54 是小数点后位数最少的，在这三个数据中，它的绝对误差最大，为 ±0.01，所以应以 39.54 为准，其他两个数字也要保留小数点后第二位，因此三数计算应为：2.04 + 0.07 + 39.54 = 41.65。

（2）在乘除法运算中，每数及它们的积或商的有效数字的保留，以每数中有效数字位数最少的为标准。在乘除法中，因是各数值相对误差的传递，所以结果的相对误差必须与各数中相对误差最大的那个相当。

例如：$13.92 \times 0.0112 \times 1.9723 = ?$

因为 0.0112 是 3 位有效数字，位数最少，它的相对误差最大，所以应以 0.0112 的位数为准，即 $13.9 \times 0.0112 \times 1.97 = 0.307$。

第二节　酸碱滴定法

一、酸碱滴定法概述

酸碱滴定法是以酸碱中和反应（质子传递）为基础的滴定分析方法，其反应的实质为：

$$H^+ + OH^- \rightleftharpoons H_2O$$

常用的标准溶液是强酸或强碱，如盐酸、硫酸，氢氧化钠、氢氧化钾等。

利用酸或碱的标准溶液，通过直接滴定法或间接滴定法测定碱和碱性物质或酸和酸性物质的含量，用间接滴定法测定铵盐中氮的含量。酸碱滴定法常用来测定土壤、肥料、果品等试样的酸度和氮、磷等的含量。

为了正确判断滴定终点，选择适宜的指示剂，就必须了解在酸碱滴定过程中溶液的 pH 值的变化、指示剂的变色原理以及与其有关的问题，以便获得准确的分析结果。



根据酸碱质子理论，凡是能够给出质子（H^+）的物质是酸；凡是能够接受质子（H^+）的物质是碱。在 NH_4^+、Cl^-、Ac^-、PO_4^{3-}、HPO_4^{2-}、Na_2CO_3、HCO_3^-、H_2O 中，哪些是酸？哪些是碱？哪些既是酸又是碱？

二、酸碱指示剂的变色范围

酸碱指示剂多是有机弱酸或有机弱碱。它们的分子和离子具有不同的颜色。可以用通式 HIn 表示弱酸指示剂，它在溶液中的电离平衡如下：

$$\underset{\text{酸式色}}{HIn} \rightleftharpoons H^+ + \underset{\text{碱式色}}{In^-}$$

当溶液的 H^+ 浓度增加时，平衡向左移动而呈现酸式色（分子色）；当 H^+ 浓度降低时，平衡向右移动而呈现碱式色（离子色）。由此可知，溶液中 H^+ 浓度的改变会使指示剂颜色改变。

通过上述分析，可得出结论：酸碱指示剂变色的内因是指示剂本身结构的变化，外因是溶液 H^+ 浓度的改变。例如，常用的酸碱指示剂如表 5-1 所示。

表 5-1　常用酸碱指示剂

指示剂	变色范围 pH	颜色	
		酸色	碱色
甲基橙	3.1 ~ 4.4	红	黄
甲基红	4.4 ~ 6.2	红	黄
酚红	6.7 ~ 8.4	黄	红
酚酞	8.0 ~ 9.6	无	红

拓展与提高

混合指示剂

在酸碱滴定中，有时需要将滴定终点控制在很窄的pH范围内。此时，可采用混合指示剂。混合指示剂有以下两类。(1) 由两种或两种以上的指示剂混合而成，利用颜色的互补作用，使指示剂变色范围变窄，变色更敏锐，有利于判断终点，减少终点误差，提高分析的准确度。例如，溴甲酚绿（$pK_a=4.9$）和甲基红（$pK_a=5.2$）两者按3∶1混合后，在pH>5.1的溶液中呈酒红色，而在pH<5.1的溶液中呈绿色，并且变色非常敏锐。(2) 是在某种指示剂中加入另一种惰性染料组成。例如，采用中性红与次甲基蓝混合而配制的指示剂，当配比为1∶1时，混合指示剂在pH=7.0时呈现蓝紫色，碱色为绿色，变色也很敏锐。

实践活动　滴定分析基本操作练习

1. 用HCl溶液滴定NaOH溶液

由碱式滴定管放出20～25mL（读至0.01mL）溶液于250mL锥形瓶中，放出速度为10mL/min，加甲基橙指示剂2～3滴。用左手的_____、_____和_____转动活塞，另两指弯向手心；右手持锥形瓶颈摇动并做_____；眼睛注视着锥形瓶中溶液_____的变化。滴定速度控制在3～4滴/秒→1滴/秒→0.5滴/秒→滴定终点。用HCl溶液滴定至溶液刚好由_____色转变为_____色，即为滴定终点。记录消耗盐酸的体积为_____mL。

2. 用NaOH溶液滴定HCl溶液

用移液管移取HCl溶液25.00mL放入250mL锥形瓶中，加酚酞指示剂2～3滴。用左手的_____、_____挤压玻璃球，另三指弯向手心；右手持锥形瓶颈摇动并做_____；眼睛注视着锥形瓶中溶液_____的变化。滴定速度控制在3～4滴/秒→1滴/秒→0.5滴/秒→滴定终点。用NaOH溶液滴定至溶液刚好由_____色转变为_____色，并保持半分钟内不褪色，即为滴定终点。记录消耗氢氧化钠的体积为_____mL。

实验内容	所需试剂	所需仪器
5－1 滴定分析基本操作	0.1mol·L^{-1} HCl溶液、甲基橙、0.1mol·L^{-1} NaOH溶液、酚酞	酸式滴定管、碱式滴定管、移液管、吸耳球、洗瓶、滴定管架、锥形瓶、烧杯、滤纸

三、酸碱滴定法的计算

利用酸碱滴定法定量分析时，涉及一系列计算问题，如酸碱标准溶液的配制与标定、酸碱滴定剂和待测物质之间的计量关系及分析结果的计算等。现举例如下。

[例5-1]　欲将100.00mL 0.1232mol/L的氢氧化钠溶液，稀释成0.1000mol/L的氢氧化钠溶液，需加水多少毫升？

[解]　设需加水的体积为VmL，则稀释后的体积为$V_{稀}=V_{浓}+V$

根据　　$c_{浓}V_{浓}=c_{稀}V_{稀}$

得　　$c_{浓}V_{浓}=c_{稀}(V_{浓}+V)$

$$0.1232 \times 100.00 \times 10^{-3} = 0.1000 \times (100.00 + V) \times 10^{-3}$$

则
$$V = 23.20\ (\text{mL})$$

答：需加水 23.20mL。

【例 5-2】 准确移取 25.00mL H_2SO_4溶液，用 0.09026mol·L^{-1}NaOH 溶液滴定，到化学计量点时，消耗 NaOH 溶液的体积为 24.93mL，H_2SO_4溶液的浓度为多少？

【解】$2NaOH + H_2SO_4 = Na_2SO_4 + 2H_2O$

由化学反应方程式知：

$$n_{NaOH} = 2n_{H_2SO_4}$$

即
$$c_{H_2SO_4} \cdot V_{H_2SO_4} = \frac{1}{2} c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}$$

$$c_{H_2SO_4} = \frac{c_{NaOH} \cdot V_{NaOH}}{2V_{H_2SO_4}}$$

$$= \frac{0.09026\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \times 24.93\text{mL}}{2 \times 25.00\text{mL}}$$

$$= 0.04500\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

答：H_2SO_4溶液的浓度为 0.04500mol·L^{-1}。

【例 5-3】 在 0.2815g 含 $CaCO_3$和中性杂质的石灰石试样中，加入 20.00mL 0.1175mol·L^{-1}HCl 溶液，而后用 5.60mL NaOH 滴定剩余的 HCl，已知 1.00mL NaOH 相当于 0.9750mL HCl，计算石灰石中 $CaCO_3$的质量分数。

【解】设石灰石中 $CaCO_3$的质量分数为 $x\%$。

根据滴定消耗 NaOH 体积，剩余 HCl 体积为 5.60×0.9750mL。

与 $CaCO_3$反应的 HCl 的物质的量为：

$$(20.00\text{mL} - 5.60 \times 0.9750\text{mL}) \times 10^{-3} \times 0.1175\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} = 1.708 \times 10^{-3}\text{mol}$$

根据化学反应方程式

$$CaCO_3 + 2HCl = CaCl_2 + CO_2 + H_2O$$

$$100\text{g} \quad 2\text{mol}$$

$$0.2815 \times x\%\ \text{g} \quad 1.708 \times 10^{-3}\text{mol}$$

$$100 \times 1.708 \times 10^{-3} = 2 \times 0.2815x$$

得 $x = 30.34\%$。

答：石灰石中 $CaCO_3$的质量分数为 30.34%。

实践活动　食醋中总酸度的测定

1. 试液的稀释

用移液管准确吸取 10.00mL 食醋试液于 250.00mL 容量瓶中，用_____的蒸馏水（不含 CO_2）稀释至刻度，摇匀备用。

2. NaOH 溶液的标定

用分析天平准确称取 $KHC_8H_4O_4$基准物质 0.3～0.4g 3 份，分别放入 250mL 锥形瓶中，

加 20mL 蒸馏水溶解后，加入酚酞指示剂 2 滴，用待标定的 NaOH 滴定，至溶液由_____转变为_____且半分钟内不褪色，记录每次消耗 NaOH 溶液的体积_____mL。计算 NaOH 溶液的准确浓度为_____mol/L。

3. 食醋中总酸度的测定

用移液管准确吸取 25.00mL 上述食醋稀释液放入 250mL 锥形瓶中，加入 2 滴酚酞指示剂，用 0.1mol/L 氢氧化钠标准溶液滴定至溶液由_____恰好转变成_____，半分钟不褪色为止。记录所用氢氧化钠标准溶液的体积为_____mL。

实验内容	所需试剂	所需仪器
5-2　食醋中总酸度的测定	0.1mol/L 标准氢氧化钠溶液、酚酞、白食醋试液、邻苯二甲酸氢钾、蒸馏水	碱式滴定管、移液管、锥形瓶、容量瓶、洗瓶、滴定管架

第三节　其他滴定分析方法简介

一、氧化还原滴定法

氧化还原滴定法是以氧化还原反应，即溶液中氧化剂与还原剂之间的电子转移为基础的滴定分析法。根据标准溶液所用氧化剂或还原剂的不同，氧化还原滴定法又分为下列两种方法。

（1）高锰酸钾法：将 $KMnO_4$ 配成标准溶液。在酸性溶液中，其反应为：

$$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$$

$KMnO_4$ 是一种强氧化剂，可以直接滴定许多还原性物质。

（2）重铬酸钾法：将 $K_2Cr_2O_7$ 配成标准溶液。在酸性溶液中，其反应为：

$$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$$

$K_2Cr_2O_7$ 是一种较强的氧化剂，可以直接滴定一些还原性物质。

除了上述两种方法外，还有碘量法、铈量法、溴酸盐法、钒酸盐法等。

利用氧化还原滴定法，不仅可以测定具有氧化性或还原性的物质，而且还可以测定能与氧化剂或还原剂发生定量反应的物质。例如钙离子可与草酸根反应，再用标准 $KMnO_4$ 溶液测定草酸根，从而间接测定钙离子的含量。氧化还原反应与酸碱中和反应不同，它是有电子转移的反应，反应比较复杂，需要一定的时间才能完成。因此，必须注意滴定速度与反应速度相适应。此外，氧化还原反应除了发生主反应外，常常可能有副反应发生，或因条件不同而生成不同的产物。所以，要创造适当条件，使它符合滴定分析的基本要求。

在氧化还原滴定过程中，判断氧化还原滴定终点，也多用指示剂。用于判断氧化还原滴定终点的指示剂，称为氧化还原指示剂。例如，在氧化还原滴定中，邻菲绕啉指示剂氧化态时显浅蓝色，而还原态时显红色；亚甲基蓝指示剂氧化态时显蓝色，而还原态时显无色。

二、配位滴定法

配位滴定法是以配位反应为基础的一种滴定分析方法，也称为络合滴定法。

早期，用 $AgNO_3$ 标准溶液滴定 CN^-，发生如下反应：

$$Ag^+ + 2CN^- \rightleftharpoons [Ag(CN)_2]^-$$

滴定到化学计量点时，多加一滴 $AgNO_3$ 溶液，Ag^+ 就与 $[Ag(CN)_2]^-$ 反应生成白色的 $Ag[Ag(CN)_2]$ 沉淀，以指示终点的到达。终点时的反应为：

$$[Ag(CN)_2]^- + Ag^+ \rightleftharpoons Ag[Ag(CN)_2]$$

现在，主要利用乙二胺四乙酸（EDTA）与许多金属离子定量反应，形成稳定的可溶性配合物，依此，可用已知浓度的 EDTA 滴定液直接或间接滴定某些被测物质，用适宜的金属指示剂指示终点。根据消耗 EDTA 的浓度和毫升数，可以计算出被测物质的含量。

例如，测定废水中 Mg^{2+} 含量，利用 EDTA（Y）做滴定剂，用金属指示剂铬黑（EBT）T 指示终点。将发生下面反应。

滴定开始前：

$$Mg^{2+} + EBT \rightleftharpoons Mg - EBT$$

蓝色　　红色

滴定开始后：

$$Y + Mg^{2+} \rightleftharpoons MgY$$

化学计量点时：

$$Y + Mg - EBT \rightleftharpoons MgY + EBT$$

红色　　蓝色

根据消耗 EDTA 的体积和已知的浓度，就可以计算自来水中 Mg^{2+} 含量。配位反应在分析化学中应用非常广泛，许多显色剂、萃取剂、沉淀剂、掩蔽剂等都是配合物。



胃舒平药片的主要成分为氢氧化铝，三硅酸镁及少量中药颠茄液浸膏，由大量糊精等赋形剂制成片剂，药片中的含量可用配合滴定法测定。请利用我们学过的知识讨论测定的方法。

三、沉淀滴定法

利用沉淀反应进行滴定分析的方法，生成沉淀的反应很多，但符合滴定分析条件的却很少，实际上应用最多的是银量法，即利用 Ag^+ 与卤素离子的反应来测定 Cl^-、Br^-、I^-、SCN^- 和 Ag^+。银量法共分三种，分别以创立者的姓名来命名。

1. 莫尔法

在中性或弱碱性的含 Cl 试液中，加入指示剂铬酸钾，用硝酸银标准溶液滴定，氯化银先沉淀，当砖红色的铬酸银沉淀生成时，表明 Cl 已被定量沉淀，指示终点已经到达。此法方便、准确，应用很广。



我们每天吃的食盐的主要成分是氯化钠，其含量≥97%，其他3%均为添加剂，我们如何利用我们学习的知识测定食盐中氯化钠含量？

2. 佛尔哈德法

（1）直接滴定法。在含 Ag 的酸性试液中，加 $NH_4Fe(SO_4)_2$ 为指示剂，以 NH_4SCN 为滴

定剂，先生成 AgSCN 白色沉淀，当红色的 $Fe(SCN)^{2+}$ 出现时，表示 Ag^+ 已被定量沉淀，终点已到达。此法主要用于测 Ag^+。

（2）返滴定法。在含卤素离子的酸性溶液中，先加入一定量的过量的 $AgNO_3$ 标准溶液，再加指示剂 $NH_4Fe(SO_4)_2$，以 NH_4SCN 标准溶液滴定过剩的 Ag^+，直到出现红色为止。两种试剂用量之差即为卤素离子的量。此法的优点是选择性高，不受弱酸根离子的干扰。但用本法测 Cl^- 时，宜加入硝基苯，将沉淀包住，以免部分的 Cl^- 由沉淀转入溶液。

3. 法扬斯法

在中性或弱碱性的含 Cl^- 试液中加入吸附指示剂荧光黄，当用 $AgNO_3$ 滴定时，在等当点以前，溶液中 Cl^- 过剩，AgCl 沉淀的表面吸附 Cl^- 而带负电，指示剂不变色。在等当点后，Ag^+ 过剩，沉淀的表面吸附 Ag^+ 而带正电，它会吸附荷负电的荧光黄离子，使沉淀表面显示粉红色，从而指示终点已到达。此法的优点是方便。

拓展与提高

重量分析法

在化学分析法中，重量分析法是一种常见分析方法，它是以称得物体的质量来计算被测物质含量的一种方法。将被测组分与其他分离，称重计算含量。能精确到 0.1% ~0.2 %，对低含量组分测定误差较大，应尽量避免使用。水分测定，药品中水中不溶物、炽灼残渣、灰分仍用。主要包括以下三种方法。

1. 挥发法

利用被测组分具有挥发性或将其转化为挥发性物质，称取挥发前后挥发性物质计算含量。

（1）直接挥发法：测吸收剂增加的量。

（2）间接挥发法：测样品所减少的量。

2. 萃取法（提取重量法）

用互不相容的溶剂萃取后称重，适用于有机药物的测定。

3. 沉淀法：沉淀形式—称量形式

步骤：取样→溶解→加沉淀剂使其沉淀→过滤→洗涤→干燥（或炽灼）→至恒重→称量→计算。重量分析法对沉淀形式要求：沉淀溶解度小，要纯净，易于过滤和洗涤，易于转化为称量形式。重量分析法对称量形式要求：称量形式的组成应固定，化学稳定性高，分子量要大。

（1）沉淀形成的过程包括晶核的生长和沉淀微粒的生长两个过程。

（2）影响沉淀溶解度的因素如下。

① 同离子效应：当沉淀反应达到平衡后，向溶液中加入过量的沉淀剂，则构晶离子（与沉淀组分相同的离子）浓度增大，使沉淀的溶解度降低的效应，称为同离子效应。加入

沉淀剂一般过量，易挥发过量为50%～100%，不挥发过量为20%～30%。

② 盐效应：由于强电解质的存在而引起沉淀溶解度增大的现象，称为盐效应。

③ 酸效应：溶液的酸度对沉淀溶解度的影响称为酸效应。对弱酸盐影响较大。

④ 配位效应：进行沉淀反应时，若溶液中存在有能与构晶离子生成可溶性配合物的配合剂，则会使沉淀溶解度增大，甚至不产生沉淀，这种现象称为配位效应。

（3）影响沉淀纯度的因素如下。

① 共沉淀：产生原因有表面吸附（主要）、形成混晶、包埋或吸留（不能清洗除去，重结晶陈化）。

② 后沉淀：放置过程中沉淀吸出。



复习与提示

一、根据本章学习的滴定分析方法完成下表

	名称	反应类型	指示剂	举例
滴定分析方法		酸碱中和反应		
			铬黑T	
				测定土壤中铁、钙、有机质等
	沉淀滴定法		$NH_4Fe(SO_4)_2$	

二、本章知识点总结

（1）滴定分析法的概念、主要方法和化学反应的要求。

（2）有效数字的运算规则。

（3）定量分析的误差。

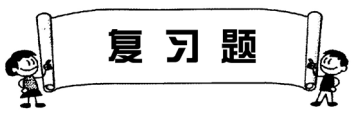
误差 { 系统误差 { 方法误差；仪器、试剂误差；操作误差 }；偶然误差（符合正态分布规律） }

（5）酸碱指示剂变色范围和酸碱滴定法计算。

（6）常用的氧化还原滴定法基本原理。

① 高锰酸钾法：$MnO_4^- + 8H^+ + 5e \rightleftharpoons Mn^{2+} + 4H_2O$

② 重铬酸钾法：$Cr_2O_7^{2-} + 14H^+ + 6e \rightleftharpoons 2Cr^{3+} + 7H_2O$



复 习 题

一、问答题

下列情况分别引起什么误差？如果是系统误差，应如何消除？

1. 砝码被腐蚀。

2. 天平两臂不等长。

3. 滴定管未读准。

4. 容量瓶和移液管不配套。

5. 在称样时，试样吸收了少量水分。

6. 试剂里含有微量水分。

7. 天平的零点突然有变动。

8. 读取滴定管读数时，最后一位估计不准。

9. 用重量法测定 SiO_2 时，试液中硅酸沉淀不完全。

10. 以含量约为 98% 的 Na_2CO_3 为基准试剂来标定盐酸溶液。

二、填空题

1. 误差可分为_____和偶然误差，偶然误差又称_____误差，它符合正态分布规律，即

（1）绝对值相等的正误差和负误差出现的机会_____。

（2）小误差出现的次数_____，大误差出现的次数_____，个别特别大的误差出现的次数_____。

2. 滴定分析方法可分为四类_____、_____、_____和沉淀滴定法。

3. 滴定分析对化学反应要符合下列基本要求：

（1）_____（要求_____以上）。

（2）_____。

（3）滴定溶液中不能有干扰主反应的杂质存在。

（4）要有适当的方法来指示化学计量点，绝大多数的滴定分析是选用_____来判断化学剂量点的。

4. 按有效数字运算规则，计算下列算式：

（1）$213.64 + 4.402 + 0.3244 =$ _____

（2）$0.015 + 34.37 + 4.3235 =$ _____

（3）$\dfrac{0.14762 \times 24.38 \times 6.2}{18.3} =$ _____

（4）$\dfrac{0.1000 \times (25.00 - 1.52) \times 246.47}{1.0000 \times 1000} =$ _____

三、选择题

1. 在下列情况中，哪一个不属于分析化学的任务（　　）。

A. 确定试样中的元素组成　　B. 确定试样中是否有某化合物

C. 测定材料的导热性　　D. 监测大气中 SO_2 的浓度

2. 下列各项中不属于系统误差的是（　　）。

A. 滴定终点与化学计量点不相符　　B. 天平砝码腐蚀

C. 对颜色的分辨能力不够敏锐　　D. 溶液溅失

3. 下列各项中造成偶然误差的是（　　）。

A. 在天平称量时，把 13.6590g 记录为 13.5690g

B. 在称量时，不正确地估计天平的平衡点

C. 在称量时有吸湿的固体时，湿度有变化

D. 在称量时，天平的平衡点稍有变动

4. 减少偶然误差的方法是（　　）。

A. 空白实验　　B. 对照实验　　C. 多次平行实验　　D. 校准仪器

5. 下列各项中不属于滴定反应的要求是（　　）。

A. 反应必须定量地进行　　B. 反应速率要快

C. 有可靠确定终点的方法　　D. 容易控制反应的温度

四、简答题

1. 如何消除测定方法中的系统误差？如何减少偶然误差？

2. 什么是滴定分析法？能够用于滴定分析的化学反应必须具备哪些条件？

3. 什么是化学计量点？什么是滴定终点？两者有何区别？

五、计算题

1. 欲配制 0.1000mol·L^{-1}的碳酸钠标准溶液 500mL，应称取基准碳酸钠多少克？

2. 移取 25mL 浓度约为 0.2mol·L^{-1}的氢氧化钠溶液，若选用草酸（$H_2C_2O_4$）作为基准试剂标定氢氧化钠溶液，则应称取草酸多少克？

3. 有 0.1035mol·L^{-1}NaOH 标准溶液 500mL，欲使其浓度恰好为 0.1000mol·L^{-1}，需加水多少毫升？

4. 用 0.1508mol·L^{-1}HCl 溶液滴定 0.2035g 不纯的 K_2CO_3，完全中和时，消耗盐酸 26.84mL，求样品中 K_2CO_3的质量分数。

5. 准确移取醋酸溶液 2.00mL，适当稀释后，以 0.1176mol·L^{-1}的氢氧化钠标准溶液滴定，以酚酞为指示剂，滴定至终点，共消耗氢氧化钠标准溶液 25.78mL，求该醋酸的物质的量浓度。

6. 准确移取硫酸溶液 25.00mL，以 0.2056mol·L^{-1}的氢氧化钠标准溶液滴定，以甲基橙为指示剂，滴定至终点，共消耗氢氧化钠标准溶液 30.12mL，求该硫酸的物质的量浓度。

第六章　与工农业生产有关的小分子有机物

本章学习要点

- 了解有机化合物的概念、有机化合物的结构、性质、分类。
- 掌握甲烷、乙烯和乙炔重要的化学性质和鉴别方法。
- 了解烷烃、烯烃和炔烃的组成、结构特点和性质。
- 掌握烷烃、烯烃和炔烃的通式及烷烃的系统命名法。
- 了解苯的结构特点和物理性质，掌握苯的加成反应和取代反应。
- 了解乙醇、苯酚、乙醛、乙酸的组成、结构和用途，掌握乙醇、苯酚、乙醛、乙酸的重要化学性质。
- 掌握乙醇、苯酚、乙醛、乙酸的鉴别方法。

课堂活动

在工农业生产和日常生活中，我们经常会接触到一些这样的物质，如酒精、汽油、天然气、甲胺磷、保鲜膜、醋、糖、脂肪、淀粉和蛋白质等，你知道这些物质都属于哪种类型的化合物吗？它们与我们前面学习的食盐、硫酸、氢氧化钠等无机物又有什么区别呢？常见的与工农业生产有关的小分子有机物又有哪些呢？它们又有怎样的组成、结构、性质和用途呢？

自然界里的物质是复杂多样的，根据物质的分子组成、结构特点和化学特性，可以把它们分为两大类：无机化合物和有机化合物。单质、酸、碱、盐等都属于无机化合物，而在工农业生产和日常生活中常接触的一些物质（如酒精、汽油、农药、塑料、醋、糖、脂肪、淀粉和蛋白质等）都属于有机化合物。

第一节　有机化合物概述

一、有机化合物与有机化学

人们将淀粉、油脂、蛋白质、纤维素和染料等化合物作为吃、穿、用等的必需品，已有非常悠久的历史。在 19 世纪初以前，由于科学水平的限制，认为这些化合物是神秘的“生命力”创造出来的，不可能人工合成出来，只能从动物和植物等有机体中取得。因此，人们将这些化合物称为有机化合物。

1828 年，德国化学家伍勒在实验室加热氰酸铵得到尿素，首次用人工方法从无机化合物制得了有机化合物，化学科学取得一个具有重大意义的突破，“生命力学说”开始动摇。此后，人们又相继用人工方法合成了醋酸、油脂和糖类等有机化合物，“生命力学说”彻底被否定，人们对有机化合物的研究迅猛发展，进入了有机合成时代，给人类的衣、食、住、行提供了成千上万种化学产品，如医药、农药、染料、塑料、合成纤维及洗涤剂等。因此，“有机化合物”这个名称已失去历史上原来的意义，只是因为习用已久，所以一直沿用着。

随着分析化学技术的发展，通过分析许多有机化合物，发现其中主要含有碳元素，通常还含有氢元素，有的还含有氧、氮、磷、硫、卤素等元素。因此，我们现在所说的有机化合物就是含碳的化合物，而把研究有机化合物的化学称为有机化学。



含碳的化合物不一定都是有机化合物，如一氧化碳、二氧化碳、碳酸和碳酸盐等少数物质，虽然含有碳元素，但由于它们的组成、结构和性质与无机物相似，故把它们作为无机物。



请你以身边常用的物质为例，说出其中哪些是无机物，哪些是有机物。你知道这些有机物的用途吗？

在农业科学技术研究领域内，有机化学占有极为重要的地位。因为农业科学的实质任务在于探讨生命现象及其规律。这就要求人们必须了解组成生物体的各种有机化合物的结构和性质，它们在生物体内的合成、分解和转化；各种肥料和饲料的营养价值，它们进入生物体后的变化；各种药剂的结构和性质，它们对生物体的作用和影响；以及农产品、园艺产品、畜产品的储藏、加工和检验的原理等。要认识这些过程的本质和规律，并通过各种途径能动地去运用和控制它们，就需要掌握必要的有机化学的知识和技能。



绿色化学

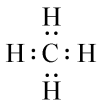
绿色化学指的是在设计、生产和应用化学产品的过程中，运用化学原理来减少或者消除有害物质的使用和产生。它又称环境无害化学（Environmentally Benign Chemistry）、环境友好化学（Environmentally Friendly Chemistry）或清洁化学（Clean Chemistry），是指化学反应和过程以“原子经济性”为基本原则，即在获得新物质的化学反应中充分利用参与反应的每个原料原子，实现“零排放”。不仅充分利用资源，而且不产生污染；并采用无毒、无害的溶剂、助剂和催化剂，生产有利于环境保护、社区安全和人身健康的环境友好产品。绿色化学化工的目标是寻找充分利用原料和能源，并且在各个环节都有洁净和无污染的反应途径和工艺。对生产过程来说，绿色化学包括节约原材料和能源，淘汰有毒原材料，在生产过程排放废物之前减降废物的数量和毒性；对产品来说，绿色化学旨在减少从原料的加工到产品的最终处置的全周期的不利影响。绿色化学不仅将为传统化学工业带来革命性的变化，而且必将推进绿色能源工业及绿色农业的建立与发展。

二、有机化合物的分子结构

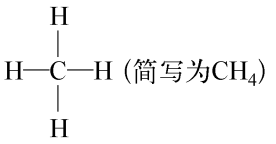
有机化合物与无机化合物在一定条件下可以相互转变，它们之间并没有绝对的界限。但是，有机化合物在组成和结构上又有它的特殊性。

碳是有机化合物中最基本的元素，要认识有机化合物的结构特点，就必须了解碳原子的特性。它是周期表中第二周期第四主族元素，原子核最外层有 4 个电子，难于失去 4 个电子或从外界获得 4 个电子形成离子而达到 8 个电子的稳定结构，因而常以共价键和氢以及其他

元素相结合形成共价化合物。例如，碳原子的最外层4个电子分别与4个氢原子的4个电子形成4个共用电子对而结合成甲烷分子。甲烷的电子式可以写为：

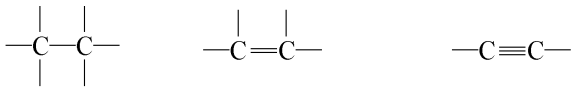


为了便于书写和表达，通常用一条短线代表一对共用电子。上述电子式可以写成下式来表示甲烷分子的结构：



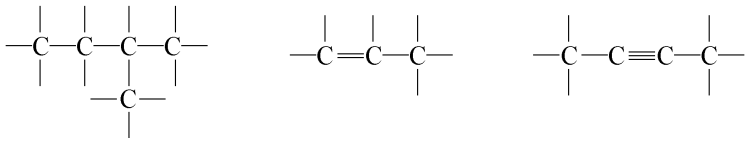
这种表示分子中原子的种类和数目，并以短线代表共价键相连接的式子，叫做结构式。有时，为了书写简便，在不致造成错觉的情况下，也可省略一些代表单键的短线，这就是结构简式。上式括号内即为结构简式。结构式对于我们认识化合物的结构和性质都很重要，对于有机化合物更是这样。但它不能说明分子里各原子在空间分布的相对位置。

在有机化合物分子中，碳原子与碳原子之间也以共价键相互结合。如果碳原子间以一对共用电子相结合，便形成碳碳单键；如果在两个碳原子间是以两对或三对共用电子相结合，则形成碳碳双键或碳碳叁键：

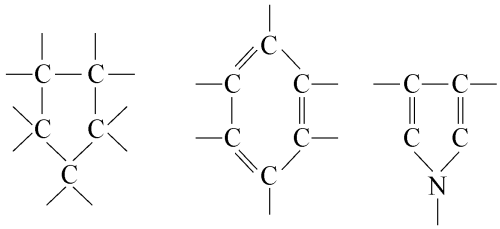


碳碳单键　　碳碳双键　　碳碳叁键（碳碳三键）

在有机化合物分子中，碳原子与碳原子之间常以碳碳单键、碳碳双键或碳碳叁键相互结合成碳链，从而构成有机化合物分子的骨架——“碳架”。碳原子间可以通过碳碳键形成链状碳架。例如：



不仅如此，碳原子还可以通过碳碳键或通过与其他原子相互连接形成环状碳架。例如：





书写结构简式的注意点

（1）表示原子间形成单键的“－”可以省略。例如，乙烷结构式中C－H、C－C中的“－”均可省略，其结构简式可写为CH_3-CH_3、H_3C-CH_3、CH_3CH_3等。

（2）“C＝C”和“C≡C”中的“＝”和“≡”不能省略。例如，乙烯的结构简式可写为$CH_2=CH_2$、$H_2C=CH_2$等，而不能写为CH_2CH_2。但是，醛基（$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-H$）、羧基（$-\overset{O}{\overset{\|}{C}}-OH$）则可进一步简写为$-CHO$、$-COOH$。

（3）准确表示分子中原子成键的情况。例如，乙醇的结构简式可写为CH_3CH_2OH、C_2H_5OH、$HO-CH_2CH_3$等。

总的来说，在有机化合物分子中，碳原子常以共价键相互结合或与其他原子相结合，这是有机化合物根本的结构特点。有机化合物的性质则是由它们的组成，特别是结构所决定的。

实践活动

利用球棍模型或橡皮泥和火柴棍，按照碳原子四价的原则，拼接直链、支链及环状碳架结构，体会碳原子在组成有机化合物骨架时的不同连接方式。

三、有机化合物的特性

在有机化合物分子中，主要是以共价键结合，而无机化合物多是以离子键结合。由于它们在结构上的不同，在它们的性质上也就表现出了差别。与无机化合物相比，有机化合物一般具有下列特性。

实践活动

用燃烧勺分别取少量食盐和蔗糖，在酒精灯上点燃，观察两种物质的燃烧情况。

绝大多数有机化合物受热易分解，而且可以燃烧，燃烧后主要生成二氧化碳和水。

实践活动

（1）在两支试管中分别加入1g食盐和1g淀粉，各加入5mL水，振荡，观察两种物质在水中的溶解情况。

（2）取水性笔、油性笔分别在2张胶片上写字，再用棉花分别蘸水、酒精进行擦拭，观察能否擦掉字迹。

大多数有机化合物难溶于水，易溶于汽油、酒精等有机溶剂。

实践活动

取两支250mL烧杯，分别加入2g食盐和2g蔗糖，再各加入100mL水，搅动使其溶解。各浸入两支带导线的碳棒，串联的直流电源和检流器，观察两溶液的导电情况。

绝大多数有机化合物是非电解质，不易导电。

实践活动

在两支干燥的硬质试管中，分别加入1g食盐和1g蔗糖，在酒精灯上加热，观察两种固体物质熔化情况。

许多有机化合物在常温下是气体、液体。常温下为固体的有机化合物，其熔点也较低，一般不超过400℃；而无机化合物一般熔点较高，常常难以熔化，如氯化钠的熔点为800℃。

化学与生活

糯米酒的酿制

我们知道，糯米酒的酿制需要较长的时间，是由于它发生了糖化、酒化、酸化过程致使

它酸甜而又醇香。具体做法是，将浸泡一晚上的糙糯米沥干水倒入电饭锅中煮熟。把酒曲压成粉末状，待米饭彻底冷却后撒在米饭上面，将米饭充分拌均匀。将与酒曲充分拌均匀的米饭放入坛子中，压实后在中间开一个小口，以方便24h后观察出酒情况，之后在坛口盖上一块干净的毛巾，将坛子在放一张毛毯中包裹起来。一般24h后会出酒水。确认出酒后，仍要盖上毛巾静置2天，后倒入高度白酒浸泡（作用是可以让米酒保持长期不坏，越存越香）。最后，就是将酒坛子密封保存，一般保存2～3年是没有问题的。

化学反应速度较慢，这是由于有机化合物的反应多是在分子间进行的，需要时间较长，如有的需要几小时甚至几天或更长时间才能完成，所以通常需要加热或应用催化剂以促进反应的进行。

有机化合物发生反应时，常常不局限于分子的某一部位，往往可在几个部位同时发生，所以除主要反应外，还伴随有副反应发生；生成物除主要产物外，还常有副产物。

四、有机化合物的分类

目前已发现的有机化合物达1000万种以上，并且每年都有许多新化合物被发现或合成出来。为了便于学习和研究，对有机化合物进行科学的分类是必要的。一般有两种分类方法：一种是按碳架分类，另一种是按官能团分类。

（一）按碳架分类

1. 链状化合物

这类化合物分子中的碳架是链状的，链或长或短，有的还具有侧链。由于这类化合物最初是在脂肪中发现的，因此又叫脂肪族化合物。例如：



丁烷　　2—甲基丁烷

2. 环状化合物

这类化合物分子中的碳架是环状的，按碳架中是否杂有其他原子，又分为碳环化合物和杂环化合物两类。

（1）碳环化合物。碳环化合物分子中的碳架完全是由碳原子组成的，它们主要存在于石油和煤焦油中。碳环化合物又可分为以下两类。

① 脂环化合物。不含苯环的碳环化合物，可以看成是链状化合物连接闭合成环而得，其性质与脂肪族化合物相似，所以又叫脂环化合物。例如：

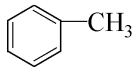


甲基环戊烷　　环己烷

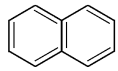
② 芳香族化合物。在这类化合物的分子中，都含有苯环并具有与脂肪族化合物和脂环化合物不同的性质。由于这类化合物最初是在香树脂中发现的，并且具有芳香气味，所以叫做芳香族化合物。例如：



苯



甲苯



萘

（2）杂环化合物。杂环化合物分子中的碳架是由碳原子和其他杂原子（如氧、氮、硫等非碳原子）组成的，它们主要存在于煤油中，许多中草药和野生植物体中也含有这类化合物。例如：



呋喃



噻吩



吡啶

（二）按官能团分类

官能团是决定一类化合物主要化学性质的原子或原子团。把含有相同官能团的化合物归为一类。数目庞大的有机物按其所含官能团不同可分成若干类。研究某类化合物中的一个化合物的性质，就可以了解该类其他化合物的主要特性。常见的官能团及其相应的各类化合物如表 6-1 所示。

表 6-1　常见的官能团及其相应的各类化合物

化合物类别	官能团结构	官能团名称	化合物实例
烯烃	—C=C—	碳碳双键	乙烯
炔烃	–C ≡ C–	碳碳三键	乙炔
卤代烃	–X	卤原子	氯乙烷
醇	–OH	醇羟基	乙醇
酚	–OH	酚羟基	苯酚
醚	–O–	醚键	乙醚
醛	–CHO	醛基	乙醛
酮	–CO–	酮基	丙酮
羧酸	–COOH	羧基	乙酸
酯	–COO–	酯键	乙酸乙酯
硝基化合物	$-NO_2$	硝基	硝基苯
胺	$-NH_2$	氨基	乙胺
腈	–CN	氰基	乙腈
磺酸	$-SO_3H$	磺基	苯磺酸

上述两种分类方法，一般是结合起来运用的。在今后的学习中，一方面，先按照碳架分类；另一方面，在每一大类中再按官能团的不同分别介绍各类有机化合物。

第二节　烷　　烃

仅由碳和氢两种元素组成的有机化合物称为碳氢化合物，简称为烃。

烃是有机化合物中最基本的一大类物质，是有机化合物的母体，其他有机化合物都可以看成是由烃衍生出来的。烃分子中一个或几个氢原子被其他原子或原子团取代后而生成的化合物叫做烃的衍生物。从这个意义上来说，有机化合物可定义为烃及其烃的衍生物。

根据烃分子结构中碳架的不同，可把烃分为两大类：碳架是链状的叫链烃；碳架是环状的叫环烃。对链烃和环烃进一步根据碳架中碳原子结合方式的不同，又可分为不同的类别。

烃的简要分类如下。

烃
- 链烃
 - 饱和链烃（烷烃）
 - 不饱和链烃
 - 烯烃
 - 炔烃
- 环烃
 - 脂环烃
 - 芳香烃

首先，讨论饱和链烃（烷烃），并从最简单最基础的化合物——甲烷谈起。

化学与生活

第二大温室气体——甲烷

甲烷是池沼底部和煤矿坑道所产生气体的主要成分，所以俗称沼气，又叫坑气。这些甲烷都是在隔绝空气的情况下，由植物残体经过某些微生物发酵的作用而生成的。此外，有些地方的地下深处蕴藏着大量的天然气，它的主要成分也是甲烷，按体积计，含量一般为80%～90%，有的高达98%。我国四川省自贡市一带，早在公元前就发现了天然气，并利用它作为熬盐的工具。

在农村利用植物遗体和粪便，在适当的温度、湿度和隔绝空气条件下，经过甲烷细菌发酵来制取沼气，用以照明、烧饭、烧水和发动机器等，而且发酵后的渣液是很好的有机肥料。因此，沼气在解决农村能源问题，改善环境卫生，提高肥料质量等方面都有重要的意义。

造成温室效应导致气候变暖的罪魁祸首是CO_2气体，但在生产和生活中有重要作用的甲烷则是人类活动造成的第二大温室气体。甲烷主要产生于水稻种植、牧羊场或牧牛场以及填埋场地腐烂的垃圾中。现在，人类活动造成大气层中甲烷含量已超过其原本自然含量的145%。因此，对甲烷的合理应用及处理也是亟待解决的问题。

一、甲烷

（一）甲烷的分子结构

前面已经介绍了甲烷的结构式，但大量的科学实验证明，甲烷分子里的一个碳原子和四个氢原子并不在同一平面上，而是形成一个正四面体结构。碳原子位于正四面体的中心，四个氢原子位于正四面体的四个顶点上。碳原子的四个价键之间的夹角彼此相等，四个碳氢键是相同的单键，比较牢固。图6-1是甲烷分子的正四面体结构示意图，它可以表示分子里各原子在空间分布的相对位置。如果用不同颜色的球代表不同的原子，用短棍代表原子间的价键，甲烷分子的主体形象可用如图6-2所示的球棍模型和比例模型来表示。

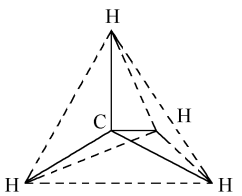


图6-1　甲烷分子的正四面体结构示意图

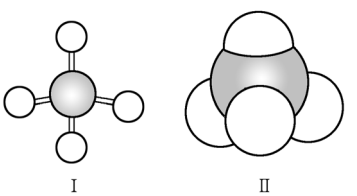


图6-2　甲烷分子的球棍模型和比例模型

（二）甲烷的性质

甲烷是无色无味的气体。在标准状况下，它的密度大约是空气密度的一半。它几乎不溶于水而易溶于汽油等有机溶剂。

由于甲烷分子中碳的价键为氢原子所饱和，形成比较牢固的单键，因此它的化学性质比较稳定。一般情况下，不和强酸、强碱或强氧化剂等反应，例如它不能使高锰酸钾溶液褪色。但在特定条件下，它仍可发生某些反应。

1. 氧化反应

纯净的甲烷能在空气中平静地燃烧，发出淡蓝色火焰，生成二氧化碳和水，并放出大量的热。

$$CH_4 + 2O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} CO_2 + 2H_2O + 890\ kJ$$

甲烷是一种很好的气体燃料。但如果点燃甲烷和空气的混和气体（含甲烷 5% ~15%），就会立即发生爆炸。煤矿瓦斯爆炸就是这个道理。因此，在矿井里必须采取安全措施，如通风、严禁烟火等，以防止爆炸事故的发生。



可 燃 冰

“可燃冰”是在一定条件下，由气体或挥发性液体与水相互作用过程中形成的白色固态结晶物质，外观像冰。由于其中含有大量甲烷或其他碳氢气体，极易燃烧，故称之为“可燃冰”，其主要成分是甲烷与水分子（$CH_4 \cdot H_2O$），学名为“天然气水合物”。

天然气水合物埋藏于海底的岩石中，和石油、天然气相比，它不易开采和运输。天然气水合物中存在两种温室气体（甲烷和二氧化碳）。在导致全球气候变暖方面，甲烷所起的作用是二氧化碳的 10 ~ 20 倍。如果在开采过程中甲烷气体大量泄漏于大气中，造成的温室效应将比二氧化碳更加严重。另外，天然气水合物也可能是引起地质灾害的主要因素之一。因此，天然气水合物既是未来的一种新能源，又是一种危险的能源。

“可燃冰”能源功效非常高，$1m^3$ 这种物质中的甲烷含量可达 $160m^3$ 以上。它燃烧产生的能量比同等条件下煤、石油、天然气产生的能量要多得多，而且在燃烧以后几乎不产生任何残渣或废弃物，污染比煤、石油、天然气等要小得多。因此，当实现了天然气水合物的开发技术后，我们能用经济有效的手段获取天然气水合物中的甲烷，那么它就可能取代其他日益减少的化石能源（如煤、石油、天然气等），成为一种主要的能源类型，将使人类步入新的能源时代。

2. 取代反应

室温下，甲烷和氯气的混合物在黑暗中长期放置而不起反应，但在光的作用下就会发生反应。黄绿色的氯气逐渐变淡，反应生成一氯甲烷和氯化氢。

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{\text{光照}} CH_3Cl + HCl$$

一氯甲烷

但反应并不停在这一步，生成的一氯甲烷仍继续和氯气反应，依次生成二氯甲烷、三氯甲烷（氯仿）、四氯甲烷（四氯化碳）。

$$CH_3Cl + Cl_2 \xrightarrow{光照} CH_2Cl_2 + HCl$$

二氯甲烷

$$CH_2Cl_2 + Cl_2 \xrightarrow{光照} CHCl_3 + HCl$$

三氯甲烷

$$CHCl_3 + Cl_2 \xrightarrow{光照} CCl_4 + HCl$$

四氯甲烷

在这些反应中，甲烷分子中的氢原子逐步被氯原子所代替而生成了四种取代产物。有机化合物分子里的某些原子或原子团被其他原子或原子团所代替的反应，叫取代反应。取代反应是有机化学里的一种主要反应类型。

上述有机化合物分子里的氢原子被卤原子所代替的反应，叫做卤代反应。烷烃的卤代反应一般是指氯代和溴代。在卤代反应中，卤素取代氢原子的能力次序是 F > Cl > Br > I。氟代反应很猛烈，必须在特殊条件下（如在惰气环境中）下进行，而碘代反应一般则很难发生。

拓展与提高

卤 代 烃

卤代烃是指烃分子中的一个或几个氢原子被卤原子（F、Cl、Br、I）取代后形成的化合物。卤代烃的化学性质十分活泼，可用它制造醇、醚、腈、胺等多种有机化合物，在医药、农药、油漆等生产行业中被广泛使用。另外，卤代烃不溶于水，但却能使醇、脂等溶解，是一种优良的溶剂，在油脂加工中常使用。四氯化碳因不能燃烧常用做油类和电源的灭火剂；在农业上，四氯化碳可做熏蒸杀虫剂，并能治疗牲畜的寄生虫病。三氯甲烷对人有麻醉作用，可用做麻醉剂，并且是常用的有机溶剂。总之，卤代烃是人们广泛使用的一种化学物质。

在生产和使用过程中，部分卤代烃常随废气、废水（油）、废渣排入环境，已成为一种重要的环境污染物。卤代烃的毒性随卤元素原子序数的增大而加大。研究证明：氯代烃对植物是有毒的，并且毒性与浓度成正比。氯代烃的毒性随着碳原子上氢原子被取代个数的增加而加大。目前，对环境破坏作用最大的是氟利昂。氟利昂是一类甲烷、乙烷等的含氟、氯或溴的衍生物，它主要用做制冷剂、气雾剂、发泡剂、清洗剂、灭火剂等。氟利昂的大量生产和使用，导致臭氧层的破坏，使人类失去了作为太阳紫外辐射的天然屏障，导致皮肤癌等疾病的不断增加。另一个引人注目的卤代烃污染物是二恶英。二恶英是一种剧毒的化学物质，具有很强的致癌作用，主要来源于农作物秸秆的燃烧。

二、烷烃及其分子结构、同系物、同分异构现象

性质和甲烷相似的物质，还有乙烷、丙烷、丁烷等一系列碳氢化合物。它们的结构简式分别是：

CH_3-CH_3　　$CH_3-CH_2-CH_3$　　$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$

乙烷　　丙烷　　丁烷

在这些烃的化合物分子结构中，除讨论过的碳氢键外，碳原子间都是碳碳单键。分子中

碳原子间都以单键结合成链，碳原子剩余的价键完全被氢原子所饱和的烃，叫做饱和链烃，或称烷烃。

烷烃主要来源于石油和天然气。生物体中烷烃含量很少，但有其独特的功能。有些植物的叶子和果皮上的蜡质层中含有少量高级烷烃，对植物表面起着保护作用，如苹果皮上的蜡含有十七烷及二十九烷。某些动物身上也可发分泌一些烷烃，如有一种雌虎蛾能分泌 2 - 甲基十七烷，雌虎蛾用它来引诱雄蛾，因此，人们可利用它来诱捕雄蛾。人工合成性引诱剂来诱杀害虫，可以使害虫断种绝代，这是新兴的第三代农药，有着广阔的发展前景。



烷烃的种类很多，如甲烷、乙烷、丙烷、丁烷等。这些同属烷烃的有机化合物彼此之间是什么关系呢？

比较这些烷烃的分子组成，可以发现相邻的两个烷烃的分子组成上均相差一个“CH_2”原子团。这种结构相似，在分子组成上相差一个或若干个 CH_2 原子团的一系列化合物，互称为同系物。甲烷、乙烷、丙烷等都是烷烃的同系物。

甲烷的分子式为 CH_4，乙烷的分子式为 C_2H_6，丙烷的分子式为 C_3H_8，丁烷的分子式为 C_4H_{10}。从以上分子式可以看出，烷烃分子中的碳原子和氢原子之间有一定的数量关系，即烷烃分子中的氢原子数应该等于碳原子数的 2 倍再加 2。我们可以用 C_nH_{2n+2} 表示烷烃，这个式子称为烷烃的通式。利用烷烃的通式，只要知道烷烃分子中所含的碳原子数目，就能立刻写出这个烷烃的分子式。目前已知的烷烃，所含碳原子数已超过 100。

拓展与提高

有机化合物中的基

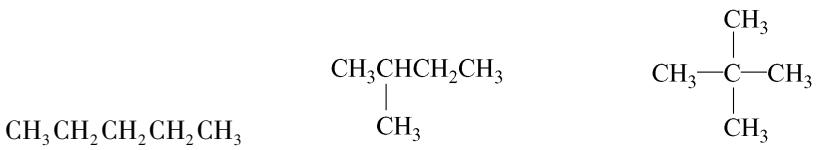
从有机物分子中去掉一个一价基团后剩余的原子团叫一价基（简称基），常见的一价烷基有 $-CH_3$（甲基）、CH_3CH_2-（乙基）、$CH_3CH_2CH_2-$ 叫丙基，$\begin{matrix}CH_3CHCH_3\\ \quad\ |\end{matrix}$ 叫异丙基等。除了一价基以外，还有二价基［亚基，如 $-CH_2-$（亚甲基）］、三价基［次基，如 $\begin{matrix}\\ -CH-\\ \quad\ |\end{matrix}$（次甲基）］等。

在烷烃同系物中，甲烷、乙烷和丙烷都只有一种结构。但从丁烷开始，情况就不同了。分子里的碳原子可以形成直链，也可以形成侧链，这种现象叫做碳链异构。由于碳链异构，丁烷就有了两种异构体，分别是正丁烷和异丁烷，它们的性质也确有不同。现把它们的分子结构和性质的差异比较如下：

	正丁烷	异丁烷
分子结构	$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$	$\begin{matrix}CH_3-CH-CH_3\\ \quad\ \ |\\ \quad\ CH_3\end{matrix}$
熔点（℃）	-138.4	-159.6
沸点（℃）	-0.5	-11.7
液态密度（g/cm^3）	0.5788	0.557

化合物具有相同的分子式，但具有不同结构的现象，叫做同分异构现象。具有同分异构

现象的化合物，互称为同分异构体。碳链异构、位置异构、官能团异构等都属于构造异构。随着烷烃分子中碳原子数的增多，碳链异构更复杂，同分异构体的数目也就更多，例如戊烷有3种同分异构体：



正戊烷　　异戊烷　　新戊烷

己烷（C_6H_{14}）有5种同分异构体，庚烷（C_7H_{16}）有9种，辛烷（C_8H_{18}）有18种，而癸烷（$C_{10}H_{22}$）有75种之多。



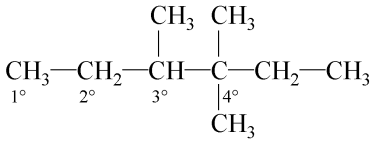
怎样才能保证书写烷烃同分异构体时数量不多也不少呢？

首先把所有的碳原子写在一条链上，然后拿下一个碳原子，使其成为取代基（甲基），根据分子对称性将取代基（甲基）先连在中心碳原子上，并依次移动至一端倒数第二个碳原子上；拿下两个碳原子，作为两个取代基（甲基）时，既可连在同一个碳原子上，也可以连在两个碳原子上；同时也可以把两个碳原子作为一个取代基（乙基），它的连接方式与甲基相同。

请同学们试试看，能否写出己烷所有的同分异构体（5种）。



为了便于掌握碳链异构的书写，便于了解某些有机化合物的分类及性质，现通过下列碳架介绍4种不同类型的碳原子。



根据碳架中和某碳原子直接相连的碳原子数，把上式中只直接和一个碳原子相连的碳原子叫做第一（伯）碳原子（1°）；直接和两个碳原子相连的碳原子叫做第二（仲）碳原子（2°）；直接和三个碳原子相连的碳原子叫做第三（叔）碳原子（3°）；直接和四个碳原子相连的碳原子叫做第四（季）碳原子（4°）。与伯、仲、叔碳原子相连的氢原子依次称为第一（伯）氢原子（1°）、第二（仲）氢原子（2°）和第三（叔）氢原子（3°）。不同类型的氢原子的反应活性有一定的差别，它们的反应活性顺序为3°H >2°H >1°H。

三、烷烃的命名

为了认识数目众多、结构复杂的有机化合物，正确的命名是很必要的。烷烃的命名法是有机化合物命名的基础，常用的有普通命名法和系统命名法。

（一）普通命名法

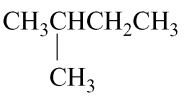
普通命名法又称习惯命名法，其基本原则如下。

（1）根据分子中碳原子数目称为“某烷”。当碳原子数为1～10个时，依次用甲、乙、

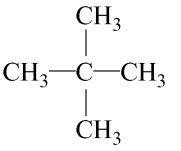
丙、丁、戊、己、庚、辛、壬、癸来表示，例如 CH_4 叫甲烷，C_2H_6 叫乙烷，C_3H_8 叫丙烷，…，$C_{10}H_{22}$ 叫癸烷。当碳原子数超过 10 个时，则用中文小写数目字来表示，例如 $C_{11}H_{24}$ 叫十一烷，$C_{20}H_{42}$ 叫二十烷等。

（2）为了区别异构体，用“正”字表示直链烷烃（通常“正”字可省去），用“异”字表示一个链端是两个甲基的烷烃，用“新”字表示一个链端是三个甲基的烷烃，分别作为名称的前冠。例如：

$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$　　（正）戊烷



异戊烷



新戊烷

应当指出，正、异这两个冠字是常用的，而新字则仅适用于新戊烷和新己烷。烷烃分子中碳原子的数目再多时，有许多异构体就无法用字首加以区别了。显然，普通命名法有一定的局限性，只适用于结构比较简单的烷烃化合物的命名。

（二）系统命名法

系统命名法的主要原则概括如下。

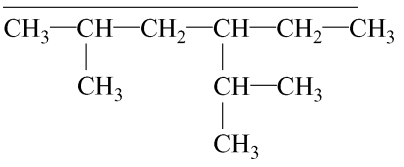
（1）直链烷烃的命名是根据分子中碳原子数称为“某烷”。例如：

$CH_3(CH_2)_5CH_3$　　$CH_3(CH_2)_8CH_3$　　$CH_3(CH_2)_{17}CH_3$

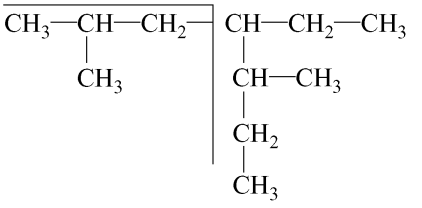
庚烷　　癸烷　　十九烷

（2）支链烷烃可以看成是直链烷烃的衍生物。带支链的烷烃按下列方法和步骤命名。

（1）选主链。从烷烃的结构式中，选择一条含碳原子数最多的最长碳链作为主链，按直链烷烃命名为“某烷”，并把它当做母体。

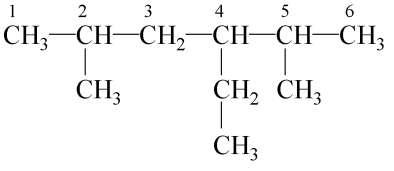


错误

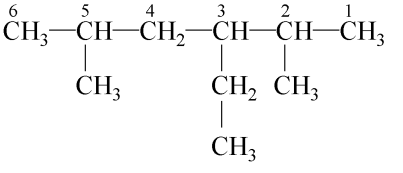


正确

（2）编序号。把支链作为取代基，从主链里距支链最近的一端开始，用 1，2，3，…，阿拉伯数字给主链的各个碳原子编号，以确定取代基的位置，使取代基的位次尽可能最小。

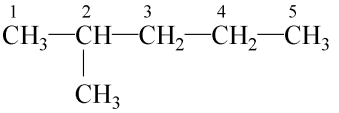


错误



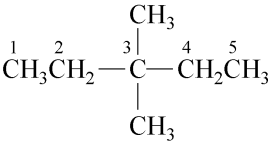
正确

（3）写名称。把取代基的位次、数目和名称依次写在母体名称的前面，但在位置号数之后要用一短线以连接后面的部分。有一个取代基时，略去其数目。例如：

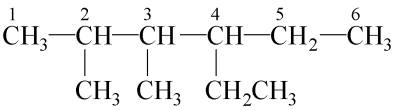


2－甲基戊烷（异己烷）

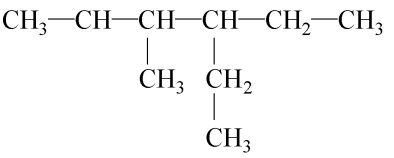
（4）当有两个或两个以上取代基时，如果取代基不同时，简单的写在前面，复杂的写在后面；当取代基相同时，要把定位数字用逗号隔开，并把取代基的数目合并起来用二，三，四，…，中文数字来表示。



3，3－二甲基戊烷



2，3－二甲基－4－乙基己烷

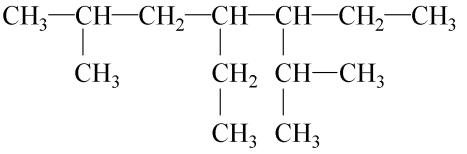


3－甲基－4－乙基己烷（不能称为4－甲基－3－乙基己烷）

课堂讨论

当分子中有几个含同数碳原子的最长碳链时，应选择哪个最长碳链为主链呢？

当分子中有几个含同数碳原子的最长碳链时，则应选择连有较多支链的一个为主链，并按上述原则命名。例如：



2，6－二甲基－3，4－二乙基庚烷（不能称为2－甲基－4－乙基－5－异丙基庚烷）

化学与生活

汽油的辛烷值

辛烷值是用来衡量汽油质量的重要指标，它表示汽油的抗爆震程度。汽车用油的主要成分是C_5H_{12}～$C_{12}H_{26}$的烃类混合物。当汽油蒸气在汽缸内燃烧时，如果引起燃烧室其他地方自动着火，燃烧室内的压力突然增高，此压力碰击四周机件而产生类似金属的敲击声，像爆炸一样，故称为爆震。一旦汽油辛烷值过低，将使引擎内产生连续爆震现象，造成机件伤害。实践证明，支链多的烷烃比直链烷烃在汽缸中的燃烧性能要好，即爆震程度小。汽油中，正庚烷的燃烧效果最差，爆震程度最大，而异辛烷的燃烧效果较好，爆震程度最小，就人为地将异辛烷的抗爆震性定为100，即辛烷值为100。把正庚烷的辛烷值定为0。如果一种汽油的燃烧效果相当于异辛烷，其辛烷值是100；如果相当于正庚烷，其辛烷值为0；如果介于两者之间，相当于异辛烷和正庚烷的某一百分比，这种汽油的辛烷值也可表示出来。

越高级的汽油，其辛烷值越高。例如，某一汽油在引擎中所产生的爆震，正好与98%异辛烷及2%正庚烷之混合物的爆震程度相同，即称此汽油的辛烷值为98。一般所谓的97、93无铅汽油是指其辛烷值，所以97比93的抗爆震性好。

为减小汽油的爆震现象，以前是在低辛烷值的汽油中添加抗爆剂——四乙基铅。只要在每升汽油中加入0.2 ~ 0.6mL的四乙基铅，就会大幅度提高汽油的辛烷值。虽然汽车尾气中的铅化物能造成严重的大气污染，但从使用性能与经济效果来看，目前还没有一种比得上烷基铅的抗爆剂。

MTBE（甲基叔丁基醚）作为无铅汽油添加剂已经在全世界范围内普遍使用。它不仅能有效提高汽油辛烷值，而且还能改善汽车性能，降低排气中CO的含量，同时降低汽油生产成本。MTBE应用至今，其需求量、消费量一直处于高增长状态，其生产技术也日趋成熟。我国近期推广使用高辛烷值无铅汽油，所用辛烷值改进剂主要是MTBE。

第三节　不饱和烃

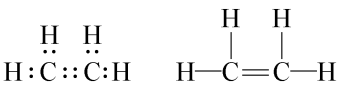
分子结构中含有碳碳双键或碳碳叁键的链烃，较相应的饱和链烃分子中的氢原子数少，这类链烃叫做不饱和烃。不饱和烃又分为烯烃和炔烃两类。

一、烯烃

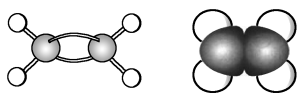
分子结构中含有一个碳碳双键的不饱和链烃叫做烯烃。乙烯是分子组成最简单的烯烃，也是烯烃最重要的代表物。

（一）乙烯

乙烯的分子式是C_2H_4，它的电子式和结构式如下：



实验证明，乙烯分子中的两个碳原子和四个氢原子都处在同一平面上。图6-3是乙烯分子的球棍模型和比例模型。在球棍模型里，用两根能弯曲的弹性短棍连接两个碳原子，来表示碳碳双键。



（a）球棍模型　（b）比例模型

图6-3　乙烯分子的球棍模型和比例模型

乙烯是无色可燃性气体，微有甜味，难溶于水，密度比空气略小。它是近代有机合成的基本原料，工业上主要由石油热裂气体分馏而得，可用来合成酒精、塑料和制造合成纤维等。

化学与生活

果实催熟剂——乙烯

乙烯是植物的内源激素之一，不少植物器官中都含有微量的乙烯。

如果你家里有青香蕉、绿橘子、绿苹果等还没有成熟的水果，怎样才能使它们尽快成熟呢？你可以把没有成熟的生水果和已经成熟的水果放在同一个塑料袋中扎紧袋口，这样过几天后，青香蕉、绿苹果等就会变黄、成熟。水果在成熟过程中，自身能释放出乙烯气体。利

用成熟水果释放出的乙烯气体可以催熟生水果。商品果实催熟剂——乙烯利（2－氯乙基膦酸），在一定酸碱度条件下可释放出乙烯，易于控制使用。

（二）烯烃的分子结构和命名

在烯烃中，除乙烯外，还有与它相差一个或多个 CH_2 原子团的一系列同系物。例如：

$CH_3-CH=CH_2$　　丙烯

$CH_3-CH_2-CH=CH_2$　　丁烯

$CH_3-CH_2-CH_2-CH=CH_2$　　戊烯

烯烃分子的结构特点是含有碳碳双键。碳碳双键中的一个键易断裂，具有较大的活动性，是决定烯烃化学性质的主要依据，所以双键是烯烃的官能团。

由于烯烃分子中含有一个双键，所以较烷烃少两个氢原子。烯烃的通式是：C_nH_{2n}。

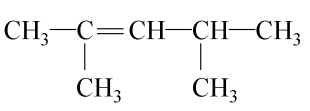
烯烃的命名与烷烃相似，只是把主链（母体）称为“某烯”并要注明双键的位置。命名规则和步骤如下。

（1）选主链：选择含有双键在内的最长碳链作为主链（母体），称为“某烯”。

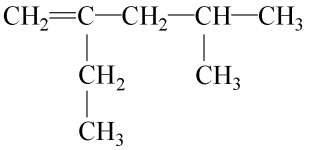
（2）编序号：从距离双键最近的一端开始给主链碳原子编号 。

（3）写名称：用较小的定位数字注明双键的位置，并写在母体名称的前面，并以短线和母体名称相连接。

例如：



2，4－二甲基－2－戊烯



4－甲基－2－乙基－1－戊烯

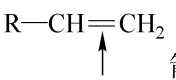
课堂讨论

在给烯烃进行命名时，为什么要标出双键的位置？

（三）烯烃的性质

烯烃是无色物质，具有一定的气味。在常温、常压下，从 C_2 到 C_4 的烯烃为气体，从 C_5 到 C_{18} 的烯烃为液体，C_{19} 以上的为固体。直链 1－烯烃的沸点随着分子中碳原子数的增大而升高。烯烃都难溶于水，易溶于有机溶剂。烯烃比水轻，相对密度都小于 1。

烯烃的化学性质主要表现在官能团 C＝C 双键上。在 C＝C 双键中有一个键不牢固，易断裂，所以烯烃的化学性质比烷烃活泼，可以发生加成、氧化、聚合等反应。烯烃反应的主要部位如下：



箭头所示为：双键上的反应（加成、氧化、聚合）

1. 加成反应

烯烃可以和氢气、卤素、卤化氢等试剂反应。反应时 C＝C 双键中的一个键断裂，试剂

的两个部分即分别加到原来以双键相连的两个碳原子上而生成新的化合物，这种类型的反应叫做加成反应。加成反应在有机化学中，也是一种主要的反应类型。

1）加氢

在催化剂铂、镍、钯等作用下，烯烃能与氢气加成生成烷烃。例如：

$$CH_2=CH_2+H_2\xrightarrow{Pt}CH_3-CH_3$$

$$CH_3-CH=CH_2+H_2\xrightarrow{Pt}CH_3-CH_2-CH_3$$

上述反应在常温下即可进行，工业上用镍作为催化剂时，需加热至 200～300℃。



烯烃的加氢反应

烯烃的加氢可用于精制汽油和其他石油产品。石油产品中的烯烃易受空气氧化，生成的有机酸有腐蚀作用。它还容易聚合成树脂状物质，影响油品的质量。加氢后，因除掉了烯烃，可以提高油品的质量。在某些精细合成中，常用加氢方法除去不需要的双键。利用加氢反应，也可以测定某些化合物的不饱和程度等。

2）加卤素

烯烃很容易与卤素发生加成反应，生成二卤代烷

$$CH_2=CH_2+Cl_2\rightarrow CH_2Cl-CH_2Cl \qquad 1,2-二氯乙烷$$

$$CH_3CH=CH_2+Br_2\rightarrow CH_3CHBr-CH_2Br \qquad 1,2-二溴丙烷$$

把烯烃通入红棕色溴水中，溴水的颜色立即褪色。利用上述反应可检验烯烃的存在。

3）加卤化氢

在催化剂存在下，烯烃也可以与卤化氢发生加成反应，生成一卤代烷。例如：

$$CH_2=CH_2+HCl\xrightarrow{CS_2}CH_3-CH_2Cl$$

由于乙烯分子的结构是对称的，所以与卤化氢发生加成反应时，无论氢原子或卤素原子加到双键的哪一碳原子上，所得产物都是相同的。



当双键的碳原子上所连的原子或原子团不同（不对称烯烃）时，这种烯烃与卤化氢加成时，就会得到两种不同的产物。例如，丙烯与氯化氢加成：

$$CH_3-CH=CH_2+HCl\rightarrow \underset{\underset{Cl}{|}}{CH_3-CH-CH_3}+\underset{\underset{Cl}{|}}{CH_3-CH_2-CH_2}$$

2－氯丙烷　　1－氯丙烷

实验证明，反应的主要产物是 2－氯丙烷，即氯化氢分子中的氢原子主要加到丙烯分子中含氢较多的双键碳原子上，而氯原子则主要加到含氢原子较少的双键碳原子上，其他的不对称烯烃都与丙烯的加成相似。

溴化氢和碘化氢与丙烯发生同样的反应，而且更容易进行。

$$CH_3-CH=CH_2+HBr\rightarrow \underset{\underset{Br}{|}}{CH_3-CH-CH_3}$$

（主要产物）

俄国化学家马科尼科夫根据大量的试验总结出一条规律：不对称烯烃与卤化氢加成时，卤化氢中的氢原子主要加到含氢较多的双键碳原子上，卤素原子则主要加到含氢较少的双键碳原子上，这个规律叫做马科尼科夫规则，简称马氏规则。

在烯烃中，凡是具有 $R-CH=CH_2$、$R_2C=CH_2$、$R_2C=CH-R$（R 代表烷基，R 可以相同，也可以不同）结构的烯烃，都是不对称烯烃。

4）加水

在酸催化下，烯烃与水加成生成醇。例如：

$$CH_2=CH_2+H_2O \xrightarrow[300℃,\ 7MPa]{H_3PO_4/硅藻土} CH_3-CH_2-OH$$

$$CH_3CH=CH_2+H_2O \xrightarrow[300℃,4MPa]{H_3PO_4/硅藻土} CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$$

这是工业上生产乙醇、异丙醇最重要的一个方法，叫做烯烃直接水合法。

从丙烯与水的加成产物可以看出，在酸催化下，不对称烯烃与水加成是马氏加成，因此除乙烯外，都得不到伯醇。

课堂讨论

在适当的温度、压强和催化剂条件下，乙烯双键会断裂，可与其他物质发生加成反应。若不外加其他物质，有无反应发生呢？若有反应发生，将是怎样呢？

2. 聚合反应

烯烃不仅能与其他化合物发生加成反应，而且能在适当条件下，其本身之间也能相互加成而生成大分子的聚合物。例如：

$$n CH_2=CH_2 \xrightarrow[400℃,1000atm]{0.01\%O_2} \underset{\text{聚乙烯}}{+CH_2-CH_2+_n}$$

因为上述反应是在 1000 atm 下进行的，工业上称此为高压聚乙烯。聚乙烯质地软而韧，弹性强，电绝缘性好，耐化学腐蚀，无毒，故可用于农业生产和食品包装。如果加入适当的添加剂，加工成型，就成为常用的聚乙烯塑料制品。

这种在一定条件下，由不饱和链烃小分子相互结合成大分子的反应，叫做聚合反应。聚合反应在合成橡胶、塑料、纤维等三大高分子材料工业上有十分重要的意义。

化学与生活

如何鉴别塑料袋是否有毒

有的塑料袋有毒，有的无毒。无毒的塑料袋一般是用聚乙烯做的，而有毒的塑料袋一般是用聚氯乙烯做的。聚氯乙烯中含有未聚合的氯乙烯单体及加入的增塑剂、稳定剂、颜料等辅助材料，这些材料往往有毒。在使用的过程中，这些物质会被食物中的油和水抽取出来而进入食品。人若吃下这样的食品，会对健康产生危害。

聚乙烯塑料和聚氯乙烯塑料，凭外观一般难以划分清楚。在燃烧的情况下，可以简便地加以区别。聚乙烯能够燃烧，火焰为蓝色，上端为黄色，有石蜡气味；聚氯乙烯难以燃烧，火焰为黄色，火焰外围显绿色，有盐酸的刺激性气味。

3. 氧化反应

烯烃分子中的双键的活泼性，还表现在它很容易被氧化。当氧化条件和氧化剂不同时，生成的产物也各不相同。

1）氧气氧化

烯烃在空气中能燃烧，生成二氧化碳和水，并放出大量的热。乙烯燃烧时的火焰比甲烷燃烧时的火焰明亮并伴有黑烟，是因为乙烯分子中碳的质量分数比甲烷的高、燃烧时由于碳没有得到充分燃烧而产生黑烟。反应式如下：

$$C_2H_4 + 3O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 2CO_2 + 2H_2O + 1410.8kJ$$

2）高锰酸钾氧化

烯烃也可以和酸性热高锰酸钾浓溶液反应，高锰酸钾的紫红色也会很快褪色。因此，根据高锰酸钾紫红色溶液的褪色来鉴定烯烃，也可用于区别烯烃和烷烃。但要注意的是，醇、醛等物质也能使高锰酸钾溶液褪色，即被高锰酸钾氧化，所以能使高锰酸钾溶液褪色的物质不一定是烯烃等不饱和烃。

化学与生活

白 色 污 染

大量的废旧农用薄膜、包装用塑料膜、塑料袋和一次性塑料餐具（以下统称为塑料包装物）在使用后被抛弃在环境中，给景观和生态环境带来很大破坏。由于废旧塑料包装物大多呈白色，因此造成的环境污染被称为“白色污染”。

这些“白色垃圾”燃烧会产生有毒气体，一般处理方法是把它们埋在堆填区的泥土里。不过，塑料普遍是不能被细菌分解的，所以这些废料成了永远的废弃物。同时，塑料废料也会阻碍植物吸取泥土中的养分，影响植物和生长。塑料废物越多，堆埋区的面积就越大，这不仅浪费土地，也会破坏环境。

二、炔烃

分子结构中含有碳碳叁键的不饱和链烃叫做炔烃。乙炔是分子组成最简单的炔烃，也是炔烃最重要的代表物。

（一）乙炔

乙炔的分子式是 C_2H_2，它的结构式如下：

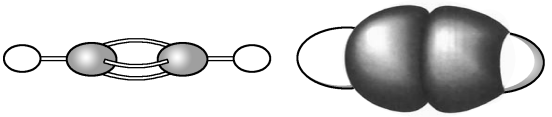
$$H—C\equiv C—H\ (HC\equiv CH)$$

在乙炔分子中，两个碳原子和两个氢原子都处在一条直线上。图 6-4 是乙炔分子的球棍模型和比例模型。在乙炔分子的球棍模型中，两个碳原子间用 C≡C 三个能弯曲的弹性短棒连接起来，表示碳碳叁键。

纯净的乙炔是无色无味的气体。由电石制得的乙炔常因混有磷化氢、硫化氢等杂质而有

恶臭。乙炔的密度小于空气，微溶于水，易溶于有机溶剂。

乙炔和乙烯一样，都是近代有机合成的基本原料。大量的乙炔由石油热裂或电石来制取，用来合成苯、醋酸和塑料等。



（a）球棍模型　　（b）比例模型

图 6-4　乙炔分子的球棍模型和比例模型

（二）炔烃的分子结构和命名

在炔烃中，除乙炔外，还有与它相差一个或多个 CH_2 原子团的一系列同系物。例如：

$CH_3—C\equiv CH$　　$CH_3—CH_2—C\equiv CH$　　$CH_3—CH_2—CH_2—C\equiv CH$

丙炔　　丁炔　　戊炔

炔烃分子的结构特点是含有碳碳叁键。叁键中有两个键易断裂，具有较大的活动性，是决定炔烃化学性质的主要依据，所以叁键是炔烃的官能团。

炔烃分子中叁键的存在，使它在组成上较相应的烯烃又少两个氢原子，即较相应的烷烃少四个氢原子，所以炔烃的通式是：C_nH_{2n-2}。

炔烃的命名与烯烃相似，只是把“某烯”改为“某炔”即可。例如：

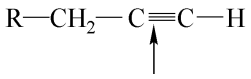


4－甲基－2－戊炔　　2，2，5－三甲基－3－己炔

（三）炔烃的性质

炔烃的物理性质同样是随着分子中碳原子数的增大而有规律地变化。它们的熔点、沸点和相当的烷烃、烯烃相比，稍高一些，相对密度稍大一点。在常温、常压下，从 C_2 到 C_4 的炔烃为气体，从 C_5 到 C_{15} 的炔烃为液体，C_{16} 以上的为固体。炔烃是无色物质，不溶于水，易溶于有机溶剂。

由于炔烃也含有不饱和键，因此具有与烯烃相似的化学性质，如都可以发生加成反应、氧化反应、聚合反应等。虽然炔烃分子的不饱和程度比烯烃高，但炔烃的加成反应的活性比烯烃低。炔烃还存在一些不同于烯烃的化学性质。炔烃反应的主要部位如下：



箭头所示为：叁键上的反应（加成、氧化、聚合）

1. 加成反应

1）加氢

与烯烃相似，在催化剂铂、镍、钯等作用下，炔烃也能与氢气加成。根据反应条件，既可以加一分子氢部分氢化生成烯烃，也可以加两分子氢完全氢化生成烷烃。例如：

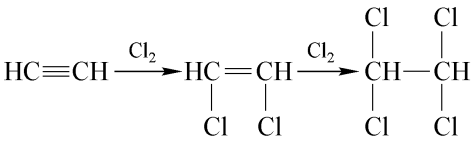
$$HC\equiv CH+H_2 \xrightarrow{Ni} CH_2=CH_2$$

$$HC\equiv CH+2H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3—CH_3$$

当氢过量，使乙炔反应完全时，乙炔加两分子氢生成乙烷；控制反应条件，在乙炔加上一分子氢后立即将反应停止，得到的则是部分氢化产物乙烯。

2）加卤素

炔烃可以与卤素发生加成反应。它与氯气的加成反应需要三氯化铁作催化剂，由于反应过于剧烈，需加入惰性溶剂稀释炔烃。若使用过量的氯气，可加入两分子氯气。例如：

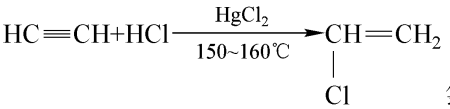


1，2 －二氯乙烯　1，1，2，2 －四氯乙烷

溴同样能与炔烃进行加成，生成二溴代烯或四溴代烷，但反应速率较氯慢。炔烃与溴的四氯化碳溶液一起振荡，红棕色溶液褪色。利用这个性质可以检验炔烃的存在。

3）加卤化氢

炔烃与卤化氢的加成反应常以 $HgCl_2$ 作为催化剂。在卤化氢不过量的情况下可以加入一分子的卤化氢，如果卤化氢过量，也可以加入两分子的卤化氢。不对称炔烃与卤化氢的加成，也遵循马氏规则。例如：

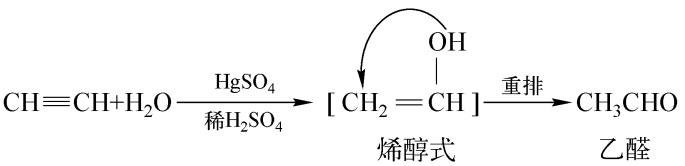


氯乙烯

乙炔与氯化氢在加热条件下通入到 $HgCl_2$ 催化剂上，即可发生加成反应生成氯乙烯，这是工业上制备氯乙烯的方法。氯乙烯是生产聚氯乙烯塑料的原料。

4）加水

在硫酸汞的稀溶液催化下，炔烃与水加成，首先生成烯醇，烯醇立即重排为稳定的酮。只有乙炔加水得到的是乙醛，其余炔烃加水都得到酮。例如：

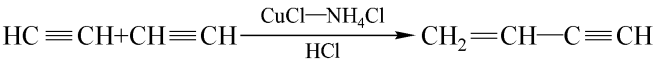


烯醇式　　乙醛

不对称炔烃与水的加成反应也遵循马氏规则。

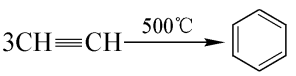
2. 聚合反应

低级的炔烃在不同条件下可以发生不同的聚合反应，生成不同的聚合产物。例如，将乙炔通入到热的氯化亚铜和氯化铵的盐酸溶液中，可发生两分子聚合反应，生成乙烯基乙炔。乙烯基乙炔与盐酸加成生成 2 －氯 －1，3 －丁二烯，它是合成氯丁橡胶的原料。



乙烯基乙炔

低级炔烃在特殊条件下可聚合成苯或苯的同系物。例如：



此反应产量不高，无工业生产价值，但说明链状化合物可以转变为芳香族化合物。

乙炔在适当条件下还可以发生很多分子的聚合，生成具体有新型功能的高分子化合物聚乙炔。

$$n\mathrm{HC{\equiv}CH} \xrightarrow{\text{齐格勒-纳塔}} \{\mathrm{CH{=}CH}\}_n$$

聚乙炔



“合成金属”——聚乙炔

聚乙炔是最简单的聚炔烃。线型高分子量聚乙炔是对氧敏感的结晶性高分子半导体，具有金属光泽。聚乙炔的电导率极小，仅为 10^{-9} S/cm，如用碘、溴等卤素或 BF_3、AsF_3 等路易斯酸掺杂后，其电导率可提高到金属水平，约为 10^3S/cm，因此称为合成金属及高分子导体。用齐格勒－纳塔催化剂，如 $TiCl_4$、$TiCi_3$ 或 $Ti(OR)_4$ 与 AlR_3（R 为烷基）组合催化剂可使乙炔直接聚合成膜。聚乙炔是尚在开发研究中的新型功能高分子，已成功制成太阳能电池、电极和半导体材料，但尚未过渡到工业应用阶段。

3. 氧化反应

与烯烃的 C＝C 双键相似，炔烃的 C≡C 叁键也容易被氧化。

1）氧气氧化

炔烃都能燃烧生成二氧化碳和水，并放出大量的热。其中，乙炔燃烧火焰很明亮，带浓烟。

$$2C_2H_2 + 5O_2 \xrightarrow{\text{点燃}} 4CO_2 + 2H_2O + 2599.1\text{kJ}$$

乙炔在氧气中燃烧时，氧炔焰的温度可高达3000℃以上，它广泛用来切割和焊接金属。

2）高锰酸钾氧化

炔烃被高锰酸钾氧化时，叁键完全断裂，生成二氧化碳。同时，高锰酸钾溶液紫红色褪色。此反应的现象非常明显，可用于叁键的检验。



甲烷、乙烯、已炔化学性质的比较

1. 氧化反应

取三支试管，分别加入2mL 0.1% $KMnO_4$ 溶液及浓硫酸2滴，再将甲烷、乙烯、已炔分别通入紫红色的酸性 $KMnO_4$ 溶液中1～2min。观察紫红色先消失的是_____；紫红色后消失的是_____；紫红色不消失的是_____。

2. 加成反应

取三支试管，分别加入2mL 1% Br_2 的 CCl_4 溶液，再将甲烷、乙烯、乙炔分别通入红棕色的 Br_2 的 CCl_4 溶液中1～2min，观察红棕色先消失的是_____；红棕色后消失的是_____；红棕色不消失的是_____。

3. 可燃性

分别点燃甲烷、乙烯、乙炔三种气体，观察甲烷燃烧时，火焰呈_____色；乙烯燃烧时，火焰_____；乙炔燃烧时，火焰_____。

实验内容	所需试剂	所需仪器
6-1　甲烷、乙烯、乙炔化学性质的比较	甲烷、乙烯、乙炔、0.1% $KMnO_4$ 溶液、浓硫酸、1% Br_2 的 CCl_4 溶液。	试管、滴管、导气管

课堂讨论

对于目前主要常用的两大能源物质——石油和煤在国民经济中的重要地位及石油分馏、煤干馏的产品和用途进行课前调查、课上讨论和交流。

拓展与提高

石 油 和 煤

一、石油

石油被誉为“工业的血液”、“液体的黄金”，目前在世界能源消费结构中正逐步取代煤炭而占据首要位置。石油已成为世界现代化建设的战略物资。近年来，许多国际争端往往与石油资源有关。现代生活中的衣、食、住、行也直接或间接地与石油产品有关。

石油是由远古海洋或湖泊中的动植物遗体在地下经过漫长的复杂变化而形成的棕黑色黏稠液态混合物——原油。原油通常呈淡黄色至黑色，有特殊气味，比水轻，不溶于水。因产地和油井不同，其色泽、气味各异。

石油是一种混合物，其主要组成是碳氢化合物。从石油的元素组成来看，主要是 C 和 H，此外含有少量的 O、N、S 等。和煤相比，石油的含氢量较高，而含氧量较低；它主要是由各种烷烃、环烷烃和芳香烃组成的混合物。由于原油中还含有泥土、水、盐等杂质，必须经过脱水、除盐等炼制，才能制得各种用途的石油产品。

石油作为烃类的混合物，没有固定的沸点。烃的分子，通常含碳原子数越少，沸点越低。因此，可以通过加热和冷凝，把石油分成不同沸点范围的蒸馏产物。这种方法就是石油的分馏。

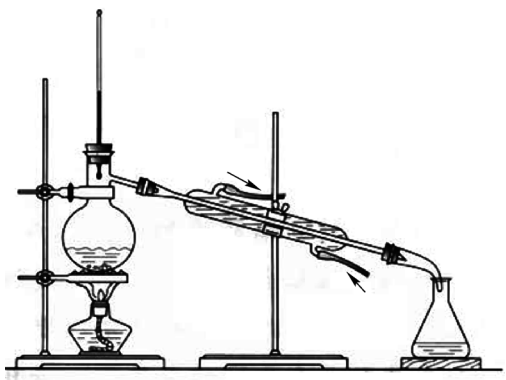


图 6-5　石油的实验室蒸馏装置

分馏出来的不同沸点范围的蒸馏产物统称为馏分（每种馏分仍然是多种烃的混合物）。石油分馏产品及其用途如表 6-2 所示。

表 6-2　石油分馏产品及其用途

分馏产品		分子所含碳原子数	沸点范围/℃	用途
溶剂油		$C_5 \sim C_6$	30 ~ 150	在油脂、橡胶、油漆生产中作为溶剂
汽油		$C_5 \sim C_{11}$	< 220	飞机、汽车以及各种汽油机燃料
航空煤油		$C_{10} \sim C_{15}$	150 ~ 250	喷气式飞机燃料
煤油		$C_{11} \sim C_{16}$	180 ~ 310	拖拉机用燃料、工业洗涤剂
柴油		$C_{15} \sim 18$	20 ~ 3600	重型汽车、军舰、轮船、坦克、拖拉机、各种高速柴油机燃料
重油	润滑油	$C_{16} \sim C_{20}$	> 360	机械上的润滑剂
	凡士林	液、固态烃的混合物		润滑剂、防锈剂、制药膏
	石蜡	$C_{20} \sim C_{30}$		制蜡纸、绝缘材料
	沥青	$C_{30} \sim C_{40}$		铺路、建筑材料、防腐涂剂
	石油焦	主要是 C		制电极、生产 SiC 等

注：表内所示沸点范围不是绝对的，在生产时常需依据实际情况而进行适当的变动。

二、煤

在人类发展的各个历史阶段中所使用的主要能源各不相同。随着蒸汽机的发明和推广应用，煤逐渐成为能源的“主角”。煤作为化石燃料是非再生能源，按现在的开采速度估计，煤只能使用几百年。煤若直接燃烧，仅利用了煤应有价值的一半，而且对环境造成较为严重的污染。因此，如何合理利用煤资源是十分重要的课题。

煤是由远古时代的植物残骸经过复杂的生物化学、物理化学和地球化学作用，转变而成的固体燃料。煤化过程包括植物→泥炭（腐泥）→褐煤→烟煤→无烟煤等若干过程。

煤的化学组成较为复杂，目前公认的组成煤的元素如表 6-3 所示。另外，还含有微量的其他非金属和金属元素，所以煤是由多种有机物和少量无机物组成的复杂混合物。

表 6-3　组成煤的元素

元素	C	H	O	N	S
含量/%	85.0	5.0	7.6	0.7	1.7

煤的化学结构很复杂。煤中大量的环状芳烃结合在一起，并且夹杂着含 S 和 N 的杂环，彼此以各种键相连。煤可成为工业上获得环芳烃的重要来源之一。

煤在我国的年消耗量约为 10 亿吨左右。目前，大部分的煤是直接烧掉的。煤直接燃烧，一方面，热能利用率低，一般为 20% ~50%；另一方面，对环境污染相当严重，SO_2 及 NO_x 等是造成酸雨的罪魁，大量 CO_2 的产生是全球气温变暖的祸首。为了解决这些问题，合理利用和综合利用煤资源是当务之急，其中最令人关心的问题有：一是如何使煤转化为清洁的能源；二是如何提取、分离出煤中宝贵的化工原料。

煤的焦化也称为煤的干馏，实验装置如图 6-6 所示。工业上把煤置于隔绝空气的密闭炼焦炉内加热，煤分解生成焦炭、煤焦油和焦炉气。加热的温度不同，产品的数量和质量也不同，一般有低温（600℃）干馏、中温（750 ~800℃）干馏和高温（1000 ~1100℃）干馏之分。

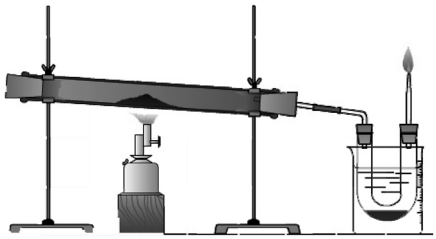


图 6-6　煤干馏的实验装置

低温干馏所得焦炭的数量和质量都较差，但焦油产率较高。中温干馏的主要产品是城市煤气，而高温馏的主要产品则是焦炭。总之，煤经过焦化加工，使其中各成分都能得到有效利用，而且用煤气作为燃料要比直接烧烘干净得多，有利于环境保护。

在煤焦化产品中主要含有 CH_4、H_2、氨、苯、甲苯、酚类、沥青以及焦炭等物质，它们主要用做燃料、化工原料、医药、农药、合成材料等。

拓展与提高

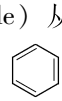
可再生资源的利用——生物质能

生物质能是太阳能以化学能的形式储存于生物中的，它直接或间接地来源于植物的光合作用。生物质能源不仅是最安全、最稳定的能源，而且通过一系列转化技术，可以生产出不同品种的能源，如固化和碳化可以生产固体燃料；气化可以生产气体燃料；液化和植物油可以获得液体燃料；如果需要还可以生产电力，等等。这样，可以减少对矿物能源的依赖，保护国家能源资源，减轻能源消耗给环境造成的污染。生物质能最有可能成为 21 世纪的主要新能源之一，有许多国家都制定了相应的开发研究计划，如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划等发展计划。

第四节　苯

在有机化合物中，有一类化合物分子中含有苯环结构，高度不饱和，性质却相当稳定。由于这类化合物最初是从香树脂中得到的，并具有芳香气味，因此被称为芳香族化合物。分子中只含碳和氢两种元素的芳香族化合物叫做芳香烃。苯是芳香烃中最简单和最重要的物质。

一、苯分子的结构

苯的分子式为 C_6H_6。从苯的分子式来看，苯是一个不饱和程度很高的化合物，但苯的性质却与烯烃或炔烃完全不同。1865 年，凯库勒（Kekule）从苯的分子式 C_6H_6 出发，提出苯的结构应该是单双键间隔和六元环，即苯的凯库勒式：。

苯的凯库勒式较好地描述了苯分子中碳原子和氢原子的结合与排列方式。但从凯库勒式来看，苯分子中含有三个双键，不饱和程度很高，但它既不易加成也不易被氧化，而苯分子

中的氢原子易被卤素等取代，这些用凯库勒式无法解释。

近代物理方法证明，苯分子的6个碳原子和6个氢原子都在同一平面上，其中6个碳原子构成平面正六边形。苯分子有6个等同的C－Cσ键、6个等同的C－Hσ键和一个包括6个碳原子在内的环状闭合大π键。因此，苯的结构式常用来表示。



苯的发现史

苯是怎样被发现的呢？19世纪，欧洲许多国家都使用煤气照明，煤气通常是压缩在桶里储运的，人们发现这种桶里总有一种油状液体，但长时间无人问津。英国科学家法拉第对这种液体产生了浓厚兴趣，他花了整整5年时间提取这种液体，从中得到了苯——一种无色油状液体。

二、苯的性质

苯是无色液体，比水轻，不溶于水，易溶于乙醚、丙酮等有机溶剂。苯具有特殊气味，它的蒸气有毒，长期吸入会损坏造血器官和神经系统，并能导致白血病。



芳香烃对健康的危害

苯是一种应用广泛的有机溶剂，是黏合剂、油性涂料、油墨等的溶剂。短时间内吸入大量苯蒸气可引起急性中毒。急性苯中毒主要表现为中枢神经系统麻醉，甚至导致呼吸、心跳停止。长期反复接触低浓度的苯可引起慢性中毒，主要是对神经系统、造血系统的损害，表现为头痛、头昏、失眠，白血球持续减少、血小板减少而出现出血倾向，甚至诱发白血病。

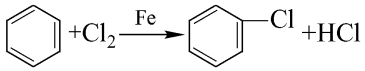
我国规定操作车间内空气中苯的浓度不得超过40mg·m^{-3}，居室内空气中苯含量平均每小时不得超过0.09mg·m^{-3}。制鞋、皮革加工业、箱包、家具制造中要使用含苯的黏合剂，喷漆、油漆工作中要使用苯及其同系物做溶剂。人若长期接触或吸入稠环芳香烃如萘（俗称卫生球，过去常用来驱虫防霉）等则会致癌。许多稠环芳香烃是强烈的致癌物质，如苯并芘等。秸秆、树叶等物质不完全燃烧形成的烟雾中含有较多的稠环芳香烃，香烟的烟雾中也存在多种稠环芳香烃，我国有些省（市）已经禁止焚烧树叶和秸秆。

苯具有环状的闭合大π键，不存在一般的C=C双键，所以苯没有烯烃的典型性质。苯环具有特殊的稳定性，不易加成和氧化，却容易发生取代反应。这种性质称为“芳香性”。

1. 取代反应

1）卤代反应

苯与氯、溴在铁或相应的铁盐等的催化下加热，苯环上的氢可被氯或溴取代，生成相应的卤代苯，并放出卤代氢。



苯环上的氯化或溴化是不可逆反应。氯化或溴化是制备芳香族氯化物或溴化物的重要方法之一。芳香族卤化物是制造农药、医药和合成高分子材料的重要原料。

拓展与提高

芳香型家用防虫剂

夏天到了，扰人的蚊子又开始在我们家里横行，这时候，芳香型防虫剂又成了各个家庭的宠儿。

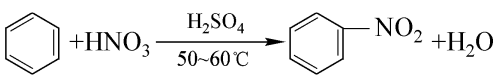
现在国内市场上的家用防虫剂主要有两大类：一是以天然植物为主要原料制成的樟脑丸或合成樟脑丸，二是以对二氯苯为主要原料制成的芳香型防虫剂。

从20世纪90年代中期开始，我国许多消费者就已与对二氯苯“亲密接触”了——一种包装漂亮且散发香气的芳香防虫蛀剂大量进入城镇居民家庭。此外，许多除臭剂和空气清新剂也是以对二氯苯为主要原料制成的。

对二氯苯属于具有毒性的挥发性有机化合物，过量使用会引起肺功能障碍、肝脏受损等。经动物实验证明，对二氯苯使动物致癌，对人类同样有害。使用这种芳香型防虫剂，虽然防住了蚊虫，但空气被污染了，并对人造成了很大的伤害。正是基于这种认识，现在美国不再允许使用对二氯苯了。

2）硝化反应

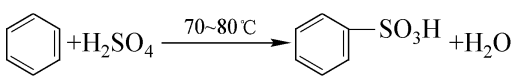
苯与浓硝酸和浓硫酸的混合物在加热到50～60℃时可发生硝化反应，苯环上的氢原子被硝基（$-NO_2$）取代，生成硝基苯。



纯硝基苯是一种具有苦杏仁味的油状液体，不纯时显淡黄色，比水重，是制造染料和农药等的原料。

3）磺化反应

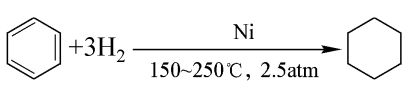
苯和浓硫酸共热，环上的氢可被磺基（$-SO_3H$）取代，产物是苯磺酸。



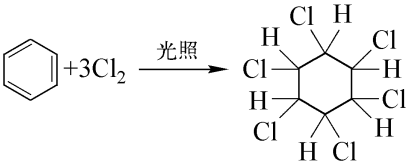
苯磺酸与硫酸相似，是一种强酸，易溶于水。磺化反应是一个可逆反应。如果将苯磺酸与稀硫酸一起加热，可使苯磺酸水解失去磺基变成苯。这一性质已被应用于有机合成上。

2. 加成反应

苯环比一般不饱和烃要稳定得多，只有在特殊条件下，才发生加成反应。例如在催化剂镍、钯、铂的作用下，苯与氢反应生成环己烷。



在日光或紫外线照射下，苯能与氯加成，生成六氯环己烷（$C_6H_6O_6$，又称为“六六六”）



“六六六”曾是一种有效的有机氯杀虫剂，但由于它的化学性质稳定，残存毒性大，不易分解，对人、畜有害，已于1986年在农业上全面禁用，取而代之的是高效的有机磷农药。

拓展与提高

化学致癌物

化学致癌物指凡能引起动物和人类肿瘤、增加其发病率或死亡率的化合物，如黄曲霉素、亚硝胺、3，4－苯并芘和二恶英等。世界卫生组织国际癌症研究中心特别工作组20多年前发表了关于人类化学致癌物质的研究报告。报告称：人类癌症约有90%与环境中的化学致癌物质有关。为了提高人们对环境中化学致癌物的认识，应采取必要的积极有效的防范措施，以保障人们身体健康。

1. 黄曲霉素

黄曲霉素是一种有荧光的毒素。在紫外线照射下，能发出蓝紫色、绿色的荧光。目前，已确定结构的黄曲霉素有17种，其中B_1、B_2、G_1、G_2、M_1、M_2的毒性最大。例如，B_1的毒性是剧毒物氰化钾（KCN）的10倍，砒霜的68倍。黄曲霉素B_1结构如图6-7所示。

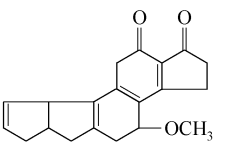


图6-7　黄曲霉素B_1结构

产生黄曲霉素的主要菌种是黄曲霉菌。高温和潮湿的环境最易使黄曲霉菌大量繁殖。黄曲霉素主要存在于粮食、食油、花生、棉籽中。在干果类食品（如胡桃、杏仁、榛子、干辣椒）中，动物性食品（如肝、咸鱼）中，以及在奶和奶制品中也曾发现过黄曲霉素。黄曲霉素通过消化道进入人体，在人体内被储存。黄曲霉素是目前发现的真菌毒素中最稳定的一种，耐强酸、紫外线照射，加热到269℃以上才开始分解，黄曲霉素可以变成有致癌作用的化合物进入细胞中，使正常细胞发生恶变，抑制蛋白质的合成，扰乱新陈代谢。据报道，黄曲霉素的含量在$1\mu g \cdot kg^{-1}$时即可诱发癌症，并与肝癌关系最大，还可以诱发骨癌、肾癌、直肠癌、乳腺癌、卵巢癌等。北京医学院用$201\mu g \cdot kg^{-1}$的黄曲霉素饲养大白鼠，一年后即发生肝癌等多种器官肿瘤。

为了防止黄曲霉素污染，应在低温、干燥处保管粮食，或加入适量化学防霉剂。不要用发霉的粮食做种子。发霉长毛的粮食，特别是花生、豆类要及时拣除，绝不能食用。

对于黄曲霉素的毒害，最好的防治办法是预防粮食和食物的霉变。消除毒素的主要办法是加碱——苏打或小苏打蒸煮。

2. 亚硝胺

亚硝胺含有亚硝基（－N＝O），是一类强致癌物。在自然环境中，亚硝酸盐和硝酸盐广泛存在，但亚硝胺很少，它主要由亚硝酸盐和有机胺类在人体内合成，或在肉类、肉制品、啤酒的生产、储存中产生。亚硝胺类化合物主要用做工业上的溶剂、润滑剂和机动汽油

的添加物，农业上用做杀虫剂等。

亚硝胺类化合物（$\begin{matrix}R_1\\R_2\end{matrix}\!\!>\!N\!-\!NO_2$）可引起一系列疾病。在一般食管癌高发地区的环境和食物中，普遍含有能产生亚硝酸胺的胺类和亚硝酸盐。研究人员在肿瘤高发区的部分陈粮食、酸菜、发霉的食物、粗制鱼露、薯干、干萝卜条、干咸鱼等样品中测出亚硝胺。在肿瘤高发区的部分居民的胃液中，也测到几种不同的亚硝胺。国外报道，在某欧洲国家市场上的香肠、奶酪和啤酒300份样品中，30%的样品含有亚硝胺。我国腌制肉类时常加入亚硝酸盐作为防腐剂，此物与肉类中的胺相结合便可产生极强的致癌物亚硝胺。已知蔬菜、水果中含有的维生素C具有阻断胃内合成亚硝胺能力，从而减少亚硝胺对人的危害。所以，我们提倡吃新鲜的各种食物。

3. 3，4－苯并芘

3，4－苯并芘即苯并芘，其分子结构如图6-8所示。它是数百种有致癌作用的多环芳烃的代表。一般食物中并不含有3，4－苯并芘，它主要存在于煤、汽油、煤焦油、沥青中。排入空气中的3，4－苯并芘通过呼吸或饮食进入人体发生致癌作用（如用沥青筑路、建房、在沥青路上翻晒粮食等）。食用油煎、烧烤食物，特别是油冒黑烟、食物烧焦时，3，4－苯并芘含量均会超标，因此有明显的致癌性。据报道，茶叶中也有少量3，4－苯并芘。烟草和烟气中的3，4－苯并芘和多环芳烃的含量十分可观。3，4－苯并芘可诱发皮肤、肺和消化道癌症，因此常被列为强的环境致癌物。

4. 二恶英

二恶英的恶名在1999年6月到处流传。让人担忧的是二恶英不能在自然界中降解，它有蓄积性，可以在人体内逐渐积累增多，10～20年过去后，在人体内达到一定的标准后，才有可能引起癌症。

二恶英的分子结构如图6-9所示，它是在近20年内被人逐渐认识的。

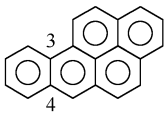


图6-8　3，4－苯并芘的分子结构

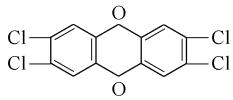


图6-9　二恶英的分子结构

它主要来自化学品杂质、垃圾焚烧、纸浆漂白及汽车尾气排放等，而现代化工产品——塑料是其主要来源之一。现在，全世界的每个地方都能发现二恶英。1995年，美国环保局公布的评价结果显示，二恶英不仅具有致癌性，而且具有生殖毒性、免疫毒性和内分泌毒性，它已被世界卫生组织作为新的环境污染物列入了全球环境监测计划中食品部分的监测对象名单。世界卫生组织于1998年建议，二恶英的每日允许摄入量为$(1\sim4)\times10^{-12}$g/kg（体重）。

比利时大量家禽遭二恶英污染很有可能是由于在饲料中掺入含珀瑞玲（有机化合物）的工业用油造成的。珀瑞玲常用于生产绝缘材料，高温分解后，极易衍生出二恶英等剧毒物质。鸡饲料中的动物脂肪和植物脂肪中的二恶英的来源还有待进一步查清。

检测二恶英一次要花费1500美元，因而不具备普测的条件。食品中的二恶英看不到、闻不到，同食物过期变质等原因没有关系，因而较难控制它对食品的污染。一般需要从原料

生产到出售这一全过程进行污染预防措施。

第五节　烃的衍生物

烃分子中的氢原子被其他原子或原子团取代后的生成物，统称为烃的衍生物。烃的衍生物的种类很多。本节主要讨论的是几种重要的烃的含氧衍生物。

一、乙醇

脂肪烃、脂环烃分子中或芳香烃侧链上的氢原子被羟基取代后所生成的化合物叫做醇，“－OH”是醇的官能团，饱和一元醇的通式为 R－OH。最常见的醇是乙醇。

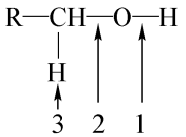
1. 乙醇的结构和物理性质

乙醇是饮用酒的主要成分，所以又叫酒精。它可看成是乙烷上的一个氢原子被羟基取代后的产物，其结构简式是 CH_3CH_2OH，可简写为 C_2H_5OH。

乙醇为无色透明、具有特殊香味的液体，易挥发，能与水及大多数有机溶剂以任意比例互溶。20℃时的密度是 0.7893g·cm^{-3}，沸点为 78.4℃。

2. 乙醇的化学性质

乙醇及醇的化学性质主要由羟基决定。乙醇及醇分子中容易发生化学反应的主要部位如下所示：



1— 氢氧键断裂，氢原子被取代
2— 碳氧键断裂，羟基被取代
3— 受羟基的影响，α–H有一定的活性

1）与活泼金属反应

乙醇分子中的羟基比较活泼，其羟基上的氢原子可以被钠、钾、镁、铝等活泼金属取代。

乙醇和水的性质相似，与金属钠作用生成乙醇钠和氢气，但反应比水缓慢得多。

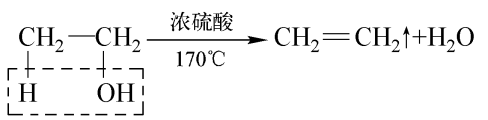
$$2CH_3CH_2OH + 2Na \rightarrow 2CH_3CH_2ONa + H_2\uparrow$$

乙醇钠

由上可见，醇羟基上的氢显示一定程度的酸性，所以醇是比水弱的酸。

2）消去反应

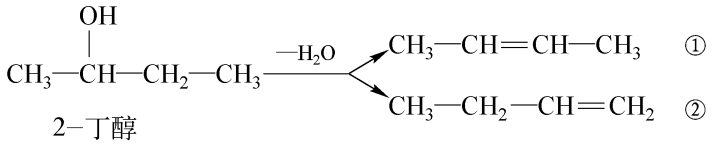
把乙醇和浓硫酸的混合液加热到 170℃左右时，乙醇脱水生成乙烯。



如上例，有机物在适当条件下，从分子中脱去一个小分子（如 HX、H_2O 等）而生成不饱和化合物的反应，叫做消去反应。

拓展与提高

需要指出，醇消去反应总是从分子中相邻两个碳原子脱去一分子水。当结合羟基的碳原子和两个碳原子直接相连时，则消除的氢原子来自含氢原子较少的碳原子上。例如在下列反应中，消除水主要按①方式进行。



2–丁醇

所以，醇在消去反应中，羟基总是和相邻的含氢原子较少的碳原子上的氢原子脱去水，主要产物是双键上具有更多烷基的烯烃，这个经验规律叫做扎依切夫规律。

3）氧化反应

乙醇在空气中燃烧，呈现淡蓝色的火焰，同时放出大量的热。

$$CH_3CH_2OH + 3O_2 \xrightarrow{点燃} 2CO_2 + 3H_2O + 1366.5kJ$$

乙醇在加热和催化剂（Cu 或 Ag）存在下，能够被空气氧化生成乙醛。工业上常用这个方法制造乙醛。

$$2CH_3CH_2OH + O_2 \xrightarrow{Cu\ 或\ Ag} 2CH_3CHO + 2H_2O$$

乙醛

化学与生活

交通警察的得力助手

简便、快捷的乙醇检测是检验司机是否酒后驾车，维护交通安全的重要保证。

交通民警使用的酒精分析器就是利用乙醇的氧化反应，快速、准确地测定出司机呼出气体中的乙醇含量，从而判断其是否饮过含酒精的饮料。

三氧化铬（俗称铬酐）为橙红色的晶体，是一种氧化能力很强的氧化剂，可以极快地氧化乙醇，而三氧化铬则被还原为墨绿色的三价铬离子。交通民警使用的酒精分析器内装有晶体的粉末。当司机对准酒精分析器呼吸时，如果呼出气体中含有乙醇蒸气，分析器内的就会与之反应，生成绿色的三价铬离子。分析器中铬离子颜色的变化通过电子传感元件转换成电信号，并使酒精分析器上的蜂鸣器发出声响，表示被测者确实饮用过含酒精的饮料。这个方法极其灵敏，适用于禁止违章酒后驾车行为，防止交通事故的发生。

3. 乙醇的制法和用途

我国在 2000 多年前就用淀粉发酵制酒。目前，工业上主要由乙烯加水合成乙醇。但用含淀粉丰富的各种农产品作为原料的发酵法至今仍为制取乙醇的一种重要方法。发酵法是通过微生物作用的生物化学过程，经发酵后的酒糟废液是优质的有机肥料，可直接用于灌溉农田，既能提高农作物产量，又可构成生态农业和生态工业的良性循环。

乙醇除了作为燃料和饮用酒类外，还是一种重要的化工原料，可用来制造乙醛、乙酸、

乙醚、橡胶和药物等。除此之外，临床上70% ~ 75%的乙醇溶液对细菌有强的穿透力，并且能使蛋白质发生变性，是常用的消毒剂。

二、苯酚

芳环上氢原子被羟基取代后所生成的化合物叫做酚，其通式为Ar－OH，羟基是酚的官能团，常称为酚羟基。酚类是合成纤维、塑料、医药、农药、染料等化工产品的重要原料。苯酚是最简单、最重要的酚。

1. 苯酚的结构和物理性质

苯酚可以从煤焦油分馏而得，因具有酸性，故俗称石碳酸。苯酚可看做是苯环上的一个氢原子被羟基取代后的生成物，其化学式是C_6H_5OH，结构简式是。

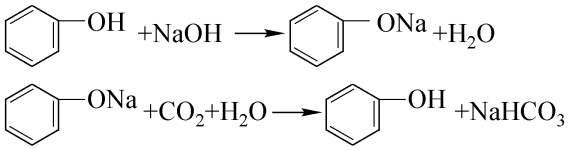
纯净的苯酚是无色透明针状晶体，有特殊刺激性的气味，因易被空气所氧化而带粉红色乃至深褐色。苯酚在常温下微溶于水，在65℃以上时可与水任意混溶，苯酚易溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。苯酚有毒，它的浓溶液对皮肤有强烈的腐蚀作用，使用时要特别小心，如果不慎沾到皮肤上，应立即用酒精擦拭并用水洗去。

2. 苯酚的化学性质

苯酚的化学性质比较活泼，它具有苯环的各种反应，又具有羟基的一些特征反应。

1）弱酸性

在苯酚的分子中，因羟基与苯环直接相连而发生生相互影响，使苯酚具有弱酸性。苯酚的酸性比醇、水强，但比碳酸弱。因此，苯酚能与氢氧化钠水溶液作用生成苯酚钠，但不能与碳酸氢钠作用，苯酚也不能使石蕊变色。相反，将二氧化碳通入苯酚钠水溶液，则可游离出苯酚。

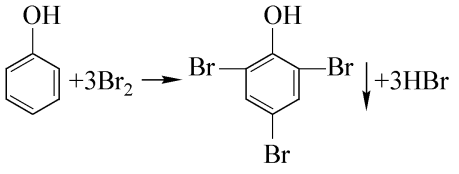


2）取代反应

实践活动

取一支干燥洁净的试管，加入2mL的饱和溴水，滴入一滴苯酚稀溶液，可观察到立即有白色沉淀产生。

苯酚与溴水在常温下迅速反应生成2，4，6－三溴苯酚白色沉淀。



此反应极为灵敏，即使苯酚的含量低到10ppm时，也能检出苯酚，故用于苯酚的定性和定量测定。

3）氧化反应

苯酚容易被氧化。苯酚与空气中氧接触，容易被氧化生成醌类化合物。苯酚能被氧化成对苯醌，也能被氧化成邻苯醌。对苯醌呈黄色，邻苯醌呈红色。

苯酚的氧化很复杂，在空气中常先被氧化成粉红色，进而变成红色或深褐色，所以保存时应储存于棕色瓶内并注意避光。食品、石油、橡胶和塑料工业常用苯酚的自动氧化性质，加进少量苯酚做抗氧化剂。

3. 苯酚的用途

苯酚是一种重要的化工原料，可用来制造酚醛塑料、合成纤维、染料、炸药、医药（如阿司匹林）、农药（如植物生长调节剂）等。苯酚能使蛋白质变性，故有杀菌效力，常用做消毒剂和防腐剂。例如，3% ~5% 苯酚溶液用于消毒医疗器械、环境消毒；纯净的苯酚可配成洗涤剂和软膏，有杀菌和止痛作用，如药皂中也掺有少量苯酚。



苯酚与外科手术

苯酚是德国化学家隆格于1834年在煤焦油中首先发现的，而使苯酚名声远扬要归功于英国著名医生——被誉为“外科之父”的约瑟夫·利斯特。

1859年，利得斯任外科医生时，一直密切观察病人伤口的愈合情况，发现病人死亡总是在开刀之后发生，而那些虽骨头断裂但皮肤完整的病人一般皆会病愈，他想伤口的腐败溃烂一定是来自空气的感染。

利斯特选用苯酚作为消毒剂进行临床实验。1865年8月12日，他给一个断腿的病人做手术。手术前，对手术室内的环境、器械、用品、医生双手均用苯酚溶液进行消毒；手术后，对病人创口消毒，再用消毒后的纱布绷带仔细包扎；以后，病人每次换药也要消毒。这种方法使手术后病人的死亡率从45%下降到15%。

三、乙醛

醛分子中含有羰基（$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-$），羰基中的碳原子连接一个氢原子构成的“$-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$”（$-CHO$）原子团，叫做醛基。醛基是醛的官能团。醛的通式是：$R-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$（$R-CHO$）。

1. 乙醛的结构和物理性质

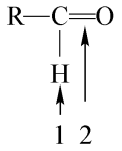
乙醛是醛类中较重要的化合物之一。它的化学式为C_2H_4O，结构式为$CH_3-\overset{\overset{O}{\|}}{C}-H$，简写为$CH_3CHO$。

乙醛是无色、有刺激性气味的液体，比水轻。沸点为21℃。乙醛易挥发，易燃烧，能与水、乙醇、乙醚、氯仿等互溶。

2. 乙醛的化学性质

醛基中的碳氧双键与碳碳双键相似，反应时，C=O双键中的一个键断裂，所以碳氧双

键也能发生加成反应；醛基中的氢也易被氧化等。乙醛及醛分子中容易发生化学反应的主要部位如下所示：



1—羰基碳上氢原子的氧化反应

2—C═O双键的加成反应

1）氧化反应

因为醛分子中醛基上有一个氢原子，而且醛基位于碳链的末端，所以醛很容易被氧化成和它含同数碳原子的羧酸。不仅强氧化剂（如 $KMnO_4$、$K_2Cr_2O_7$等）能使醛氧化，弱氧化剂也能使醛氧化。常用的弱氧化剂有托伦（Tollen）试剂和费林（Fehling）试剂。



在一支洁净的试管中加入1mL 2% 的 $AgNO_3$溶液，然后一边振荡试管，一边逐渐滴入2% 的稀氨水，直到产生的沉淀恰好溶解为止。这样得到的溶液通常叫做银氨溶液，即托伦试剂。

再向银氨溶液中加入3 滴乙醛，振荡后把试管放入热水浴里温热。不久，可以观察到试管内壁上会附着一层光亮如镜的金属银。

托伦试剂是硝酸银的氨溶液（又叫银氨溶液）。它与醛共温热时，醛即氧化成羧酸（铵盐形式），而银离子还原成金属银，并附着在管壁上形成银镜，这个反应叫做银镜反应。此反应常用来检验醛基的存在。上述实验的反应方程式如下：

$$AgNO_3 + 3NH_3 \cdot H_2O \rightarrow Ag(NH_3)_2OH + NH_4NO_3 + 2H_2O$$

氢氧化二氨合银

$$CH_3CHO + 2Ag(NH_3)_2OH \xrightarrow{\text{温热}} CH_3COONH_4 + 2Ag\downarrow + 3NH_3 + H_2O$$

银镜

工业上利用葡萄糖（含醛基）做还原剂进行银镜反应，把银均匀地涂在玻璃上制成镜子或保温瓶胆。



醛与托伦试剂的反应为什么要在碱性溶液中进行？在酸性溶液中可以吗？银镜反应为什么要使用洁净的试管？实验结束后为什么要用稀硝酸清洗试管？



镜 子 小 史

在古代，人们要想看看自己的模样，只好站在水池边或者拿一盆水来照一下。我们的祖先就这样过了不知多少万年。

进入青铜器时代以后，铜镜只能使人看到一个不很清楚的影像。如保存不当，铜镜还会因腐蚀而变暗，那就什么也看不出来了。

人类使用青铜镜的历史达二三千年之久。以后，人们又尝试过用铁、银来磨制镜子，但都有一个缺点，日子稍久，就会变暗。

13 世纪后半期，威尼斯人制得了平板玻璃。人们在平板玻璃后面粘上一块金属板，才制得了较为理想的镜子。物以稀为贵，当时的镜子贵得出奇。法国女王玛丽·麦迪奇结婚时，威尼斯共和国赠送给她的礼物——只有一本书那样大的镜子，却价值 15 万法郎。

后来，人们想出办法，用水银（汞）代替金属板。这种镜子的光亮度很好，成本低，老百姓都用得起。可是，水银蒸气有毒，工人在制镜时常常发生水银中毒的事故，每年要夺去不少制镜工人的生命。

直到 100 多年前，“银镜反应”问世后，制镜工业才开创了新纪元。

实践活动

取费林试剂 A 液和 B 液各 2mL 置于一支洁净的试管中，混合均匀。然后滴入 6 滴的乙醛，振荡后，在酒精灯焰上加热到沸腾。观察溶液中有砖红色沉淀生成。

费林试剂分为 A 液和 B 液，A 液是硫酸铜溶液，B 液是氢氧化钠和酒石酸钾钠溶液。使用时，将两者等体积混合，就得到深蓝色的费林试剂（氢氧化铜溶解在酒石酸钾钠溶液中）。当醛和费林试剂共煮时，醛被氧化成羧酸，同时有砖红色的氧化亚铜沉淀生成，这个反应叫做费林反应。此反应也常用来检验醛基的存在。

在反应过程中，乙醛把试剂里的氢氧化铜还原成砖红色的氧化亚铜沉淀，而本身被氧化成乙酸。反应方程式如下：

$$\underset{\text{（A 液）}}{CuSO_4} + 2NaOH \rightarrow \underset{\text{（B 液）}}{Cu(OH)_2} + Na_2SO_4$$

$$CH_3CHO + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{\triangle} CH_3COOH + \underset{\text{砖红色}}{Cu_2O\downarrow} + 2H_2O$$

2）还原反应

醛分子中的碳氧双键都能与氢原子加成而被还原成醇。常用的金属催化剂有 Ni、Cu、Pt、Pd 等。例如：

$$CH_3CHO + H_2 \xrightarrow{Ni} CH_3CH_2OH$$

3. 乙醛的制法和用途

工业上用乙炔水合法生产乙醛。近年来，随着石油化工的发展，又创造了乙烯氧化法的新技术。这种方法是在一定温度和压力下，用氯化钯和氯化铜作为催化剂，使乙烯被氧气直接氧化成乙醛：

$$2CH_2{=}CH_2 + O_2 \xrightarrow[120℃,\ 1MPa]{CuCl_2\text{–}PdCl_2} 2CH_3CHO$$

乙醛是有机合成的重要原料，可用于合成乙酸、乙醇、三氯乙醛等。

化学与生活

身边的隐形杀手

近年来，水发食品中毒、免烫衬衫甲醛超标、装修材料中甲醛中毒等事件引起了人们对

甲醛的普遍关注。

甲醛为有害化学物质。误服中毒者，有上腹痛、过敏、呕血、意识不清、昏迷等症状。长期接触甲醛，还有致癌的危险。

1. 家具与装修材料

甲醛大量存在于黏合剂、油漆、涂料、清洁剂、壁纸、复合地板、家具、厨具的背板、面板中。据报道，木头散发甲醛的速度很慢，因此只要是一两年之内的新家具或新装潢，都会一直散发这种致癌物。为了防止室内空气由于装修造成甲醛污染，请注意以下几个方面。

（1）在选择装修材料（中密度板、黏合剂、涂料、油漆等）时，一定要选择正式生产厂家的产品。

（2）在居室装修完成后，要经过30天左右的挥发、干燥后，再考虑搬家。

2. 食品

在食品中加入含甲醛的“吊白块”，主要是利用它的漂白和防腐作用，以改善食品外观。现在已发现的存在吊白块的食品主要有面粉、米粉、腐竹、豆制品、粉丝、银耳、白糖、罐头、水发产品等。“吊白块”不仅破坏食品的营养成分，还会引起过敏、肠道刺激、食物中毒等疾患。因此，在选购食品时，应注意鉴别。

3. 服装

为了防止服装皱缩，常在棉纤维布料服装中加入甲醛树脂涂料，这种布料的表面就带有甲醛。目前，市场上出售的已查出甲醛超标的服装有免烫衬衫、童装等。因此，在选购免烫衬衫或童装时，应注意鉴别：

（1）闻闻衬衫上是否有特别浓重的类似家具商场的刺激性气味。

（2）甲醛容易溶解于水中，回家后最好先用清水充分漂洗。

（3）在选童装时，尽量选择素色和无印花图案的，颜色浓艳和多印花的服装的甲醛含量较高。

在家具、家庭装修、食品、服装中，甲醛无处不在，应注意躲开身边的隐形杀手。

四、乙酸

羧酸是烃基和羧基结合而成的化合物，常用通式$R—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—OH$表示。羧酸的官能团是羧基（$—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—OH$）。

1. 乙酸的结构和物理性质

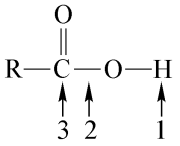
乙酸是一种重要的有机酸，食醋中含6% ~8%的乙酸，所以乙酸又叫醋酸。乙酸的化学式为$C_2H_4O_2$，结构式为$CH_3—\overset{\overset{O}{\|}}{C}—OH$，结构简式为$CH_3COOH$。

纯乙酸是一种无色有刺激性的液体，沸点为118℃，熔点为16.6℃。当室温低于16.6℃时，乙酸就凝结成冰一样的晶体，所以无水乙酸又叫冰醋酸。乙酸既能与水混溶，也能溶于

乙醇和乙醚等有机溶剂中。

2. 乙酸化学性质

羧酸由烃基和羧基组成，其化学反应主要发生在羧基上。羧基从形式上看是由羰基和羟基组成，它在一定程度上反映了羰基和羟基的某些性质，但又与醛、酮中的羰基和醇中的羟基有显著差别，这是羰基与羟基相互影响的结果。乙酸及羧酸分子中容易发生化学反应的主要部位如下表示：



1—羟基中的氢原子的酸性和成盐反应

2—羟基被取代的反应

3—羰基的脱羧反应

1）酸性

实践活动

取一支干燥洁净的试管，加入3滴乙酸，再加入1mL蒸馏水，振荡试管。然后，加入2滴紫色的石蕊试液，观察溶液颜色的变化。

乙酸在水溶液中能部分电离出 H^+，而显弱酸性，但比碳酸和苯酚的酸性要强。

$$CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$$

乙酸具有酸的通性，能使紫色石蕊试液变红，利用此性质可以检验乙酸的存在。除此之外，乙酸还能与活泼金属、碱、碱性氧化物和盐发生反应。

$$2CH_3COOH + 2Na \rightarrow 2\ CH_3COONa + H_2\uparrow$$

乙酸钠

$$CH_3COOH + NaOH \rightarrow CH_3COONa + H_2O$$

$$2CH_3COOH + CaO \rightarrow (CH_3COO)_2Ca + H_2O$$

乙酸钙

$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O$$

化学与生活

苯甲酸和苯甲酸钠与防腐剂

苯甲酸和苯甲酸钠又称安息香酸和安息香酸钠，系白色结晶，苯甲酸微溶于水，易溶于酒精；苯甲酸钠易溶于水。苯甲酸对人体较安全，是我国国家标准允许使用的两种有机防腐剂之一。

苯甲酸抑菌机理是，它的分子能抑制微生物细胞呼吸及酶系统活性，特别是对乙酰辅酶缩合反应有很强的抑制作用。在高酸性食品中杀菌效力为微碱性食品的100倍，苯甲酸未被解离的分子态才有防腐效果，苯甲酸对酵母菌的影响大于霉菌，而对细菌的效力较弱。允许用量为：酱油、醋、果汁类、罐头，最大用量为1.0g/kg；葡萄酒、果子酒、琼脂软糖，最大用量为0.8g/kg；低盐酱菜、面酱、蜜饯类、山楂类、果味露，最大用量为0.5g/kg（以

上均以苯甲酸计，1g 钠盐相当于 0.847g 苯甲酸）。

2）酯化反应

酯化反应是指醇和酸作用脱水而生成酯的反应。

酯化反应的本质是，羧酸分子中的羟基和醇羟基中的氢原子结合成一分子水而脱去生成酯。这已由下列实验所证明：当用含^{18}O的醇与羧酸反应时，^{18}O进入酯的分子中，而并不生成含^{18}O的水分子。例如：

$$CH_3COOH+CH_3CH_2{}^{18}OH \underset{\triangle}{\overset{\text{浓硫酸}}{\rightleftharpoons}} CH_3C{}^{18}OOCH_2CH_3+H_2O$$

酯化反应是一个可逆反应，其逆反应叫做酯的水解反应。酯化反应速度极为缓慢，必须在催化剂存在下加热回流才易进行。通常使用的催化剂有浓 H_2SO_4、无水 HCl 等。

拓展与提高

肥皂和合成洗涤剂

油脂是一种特殊的酯，油脂水解后生成的酸是高级脂肪酸，生成的醇是丙三醇（甘油）。如果将油脂放在碱性溶液（NaOH 或 KOH）中水解，即生成高级脂肪酸的盐和甘油，其中高级脂肪酸的钠盐（或钾盐）就是肥皂。

肥皂是广泛使用的洗涤剂，具有去污作用。肥皂之所以能够去污，是因为肥皂分子有两种基团：一种是亲水的 $-COONa$ 或 $-COO^-$，它可以溶于水；另一种是憎水的非极性的烃基，它不溶于水，具有亲油的性质。肥皂的分子结构示意图如图 6-10 所示。

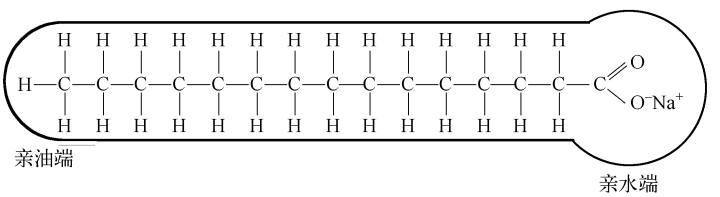
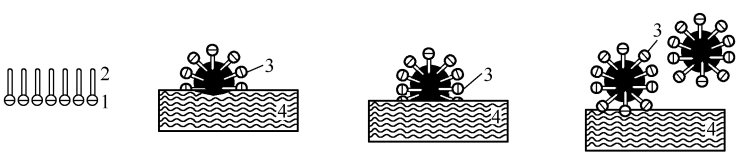


图 6-10　肥皂的分子结构示意图

洗涤时，肥皂分子中的长链烃基可伸入到被洗物（织物）上的油污内，羧基则在水中，油滴被肥皂分子包围起来，使油污微粒乳化，并分散悬浮于水中，形成乳浊液。此外，由于肥皂分子的亲水基团插入水中而憎水基团又伸出在水面外，削弱了水分子间的引力，使水的表面张力降低，油污易被润湿渗透，从而使油污与它的附着物（纤维）逐渐松开，经揉、搓及机械摩擦而脱离附着物，并分散成细小的乳浊液，再经水漂洗而除去。这就是肥皂去污原理，如图 6-11 所示。

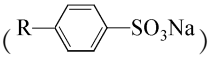
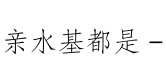
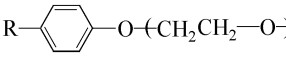


（1）亲水基　（2）憎水基　（3）油污　（4）纤维织品

图 6-11　肥皂去污原理示意图

肥皂由于分子组成的原因，不宜在酸性或硬水中使用。近年来，以石油加工的产品为原料合成了多种洗涤剂。合成洗涤剂的显著优点，就是在硬水及酸性水中均可使用。

合成洗涤剂是具有去污作用的化学合成制品，是一种表面活性剂，在水溶液中能降低水的表面张力。它的去污原理和肥皂相似，其分子结构中同样具有亲水（溶于水）基团和憎水（不溶于水）基团。合成洗涤剂种类很多，根据结构特点分为离子型和非离子型两大类。离子型又包括阴离子和阳离子型两种。

阴离子型应用最广泛，常见的有烷基磺酸钠（$R-SO_3Na$）和烷基苯磺酸钠（）两种组成，其中亲水基都是$-SO_3Na$，憎水基分别是R－和，式中R－是含10个碳以上的烃基。目前，市售洗衣粉主要是烷基苯磺酸钠，可在酸性溶液及硬水中使用。阳离子型的如“新洁尔灭”等，其主要成分是溴化二甲基苄基十二烷基铵，去污能力较差，但有灭菌作用。非离子型如“洗净剂”，其结构式为，$n=6\sim12$，$R=C_8\sim C_{10}$的烷基，是一种黏稠的液体，易溶于水，洗涤效果良好。除用于家庭洗涤外，广泛用于纺织、印染、选矿、制革、化妆品、金属加工等行业。

3. 乙酸的制法和用途

乙酸广泛存在于自然界，常以盐或酯的形式存在于植物果实和液汁中，也少量存在于动物的尿液和胆汁中。由于许多微生物可将不同的有机物转化为乙酸，所以某些腐败的有机体、变酸的牛奶、发馊的食物等都含有由微生物发酵而产生的乙酸。

目前，工业上大部分乙酸采用乙醛氧化法而制得。

$$2CH_3CHO+O_2 \xrightarrow[70\sim80℃,\ 0.8MPa]{(CH_3COO)_2Mn} 2CH_3COOH$$

乙酸是重要的化工原料。乙酸可以合成酸酐、酯、酰胺等，是染料工业、制药工业、塑料工业和香料工业中不可缺少的原料，也可用于生产醋酸纤维和维尼纶。用食醋熏蒸室内，还可预防流行性感冒。

拓展与提高

取 代 酸

凡羧酸分子中烃基上的氢原子被其他原子或原子团取代所形成的化合物，统称为取代酸。下面介绍几种重要的取代酸。

1. 乳酸

乳酸的化学名称叫α－羟基丙酸，它的结构式是：

$$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

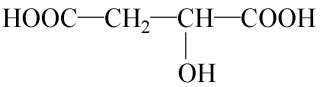
乳酸存在于酸乳、泡菜和青储饲料中，它是乳汁、蔬菜和饲料中的糖类在乳酸菌作用下

分解生成的。乳酸也存在于肌肉中，特别是肌肉剧烈运动后，乳酸的含量增加，因此感觉肌肉酸胀。

乳酸是晶体，有很强的吸湿性，易溶于水，所以通常见到的乳酸是黏稠的液体。乳酸在医药上用做消毒剂，它的钙盐可治疗一般缺钙症。

2. 苹果酸

苹果酸即羟基丁二酸，它的结构式是：

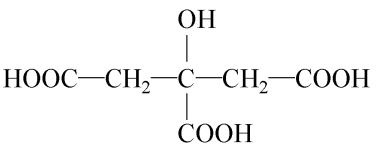


苹果酸是无色晶体，易溶于水，在未成熟的苹果和浆果中含量较多。禾本科和豆科植物种子与叶内也含有苹果酸。

苹果酸是无色针状晶体，易溶于水和乙醇，微溶于乙醚。苹果酸是生物体代谢的中间产物，常用于制药和食品工业。

3. 柠檬酸

柠檬酸即3－羟基－3－羧基戊二酸，它的结构式是：



柠檬酸广泛存在于植物体内，在浆果中比苹果酸还多，柑橘、山楂、乌梅等果实中都含有柠檬酸，尤以柠檬中含量最多（未成熟的柠檬中可达6%）。

柠檬酸是无色晶体，易溶于水和醇，有爽口的酸味，在食品工业用做糖果及清凉饮料的调味剂。柠檬酸还具有良好的防腐性，是制作糕点、医药的重要原料，也是糖代谢的一个很重要的中间产物。它的钾盐是利尿剂和祛痰剂，钠盐是抗凝血药物，铁铵盐是补血剂或用来制作糖浆，也可用于晒制蓝图。



乙醇、苯酚、乙醛和乙酸的重要化学性质

1. 乙醇与活泼金属的反应

在干燥洁净的试管中，加入1mL无水乙醇，再加入一粒黄豆大小的钠，振荡，钠与水反应有少量_____产生。

2. 苯酚的性质

1）弱酸性

在干燥洁净的试管中，加入少量浑浊的苯酚溶液，再加入几滴10% NaOH溶液并振荡，溶液由 _____变_____。

2）取代反应

在干燥洁净的试管中，加入1mL澄清苯酚溶液，再逐滴加入饱和溴水，有____色沉淀生成。

3. 乙醛的氧化反应

1）银镜反应

银氨溶液的配制：在一支干燥洁净的试管中，加入2mL 2% $AgNO_3$溶液，再加入1% NaOH的溶液1滴。然后在振摇下，滴加2% $NH_3 \cdot H_2O$溶液，直至析出的褐色氧化银沉淀恰好溶解为止。

在上述试管中加入3～4滴乙醛。振荡后放入60～70℃的水浴中加热，试管中有____产生。

2）费林反应

费林试剂的配制：在一支干燥洁净的试管中，分别加入10% NaOH溶液2mL，再滴入1% $CuSO_4$溶液2mL，振荡，配成费林试剂。

在上述试管中加入3～4滴乙醛。振荡后，将试管在酒精灯上加热到沸腾，试管中有_____色沉淀产生。

4. 乙酸的性质

1）酸性

在一支干燥洁净的试管中加入1mL乙酸，再滴加紫色的石蕊试液，溶液由____色变成____色。

2）酯化反应

在2.0cm×20cm的大试管里放入2～3块小瓷片，再加入3mL无水乙醇、2mL乙酸。小心加入2mL浓硫酸，振荡。将试管固定在铁架台上。另取一支试管，加入5mL饱和碳酸氢钠溶液（内滴3滴酚酞，使溶液呈__色），按图6～12所示装好装置。用小火加热大试管，1～2min后，在红色的饱和碳酸钠溶液的上层，出现一层__色透明液体，它就是_____酯。

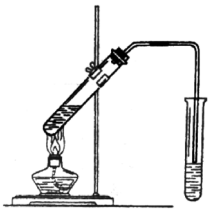


图6-12　酯化反应装置示意图

实验内容	所需试剂	所需仪器
6-2　乙醇、苯酚、乙醛、乙酸的重要化学性质	无水乙醇、金属钠、苯酚溶液、酚酞、乙醛、乙酸、紫色石蕊试液、浓硫酸、10% NaOH、1% NaOH、饱和 $NaHCO_3$、2% $NH_3 \cdot H_2O$、2% $CuSO_4$、2% $AgNO_3$、饱和溴水	试管、滴管、导气管、橡皮塞、酒精灯、铁架台

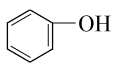


复习与提示

1. 本章主要讲授了有机化合物的定义、结构特点、特性和分类，主要知识可归纳如下：

有机物定义	结构特点	特性	分类	
			按碳架分类	
			按官能团分类	

2. 按有机物的分类方法填写下表：

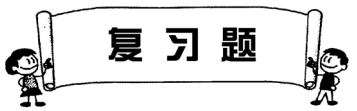
类别	官能团	典型化合物的名称和结构简式
烯烃	C＝C	
		乙炔 HC≡CH
	－OH	
		 苯酚
		
酮		
羧酸		

3. 本章主要讲授了各类烃的通式、官能团、代表物和主要化学性质，主要知识可归纳如下：

类别	通式	官能团	代表物	主要化学性质
烷烃		无		
烯烃	C_nH_{2n}			加成反应、氧化反应、聚合反应
炔烃		C≡C		
芳香烃			苯	

4. 本章主要讲授了几种烃的含氧衍生物的通式、官能团、代表物和主要化学性质，主要知识可归纳如下：

类别	通式	官能团	代表物	主要化学性质
醇	R－OH			
酚		－OH		
醛			乙醛	
羧酸				酸性、酯化反应



一、填空题

1. 有机化合物在结构上的根本特点是_____。在有机化合物中，碳原子间不仅可以形成碳碳单键，还可以形成碳碳____键和碳碳____键。

2. 烃基是烃分子中失去一个____原子后所剩余的部分，如－CH_3是____基，－CH_2CH_3是____基，丙基的结构简式是_____，异丙基的结构简式是_____。

3. 烯烃能使高锰酸钾溶液和溴的四氯化碳溶液褪色，其中与高锰酸钾发生的反应是____ 反应；与溴发生的是____ 反应。在一定条件下，乙烯还能发生____ 反应，生成聚乙烯。

4. 炔烃是分子中含有____键的不饱和烃。炔烃的通式是_____，丙炔、1－丁炔的结构简式分别是_____和_____。

5. 乙醇的结构简式是_____，乙醇俗称_____。乙醇与浓硫酸共热到170℃，发生____反应，反应方程式是_____。

6. 纯净的苯酚是_____体。常温下，苯酚____溶于水，溶液呈____状态。若加热到65℃以上，液体变_____，冷却后又变_____。

7. 现有苯、乙醇、苯酚等几种有机物，其中，常温下能与NaOH溶液反应的是_____；常温下能与溴水反应的是_____；能与金属钠反应放出氢气的是_____。

8. 在硫酸铜的溶液中加入适量氢氧化钠溶液后，再滴入适量乙醛，加热。可观察到的现象依次是_____，反应方程式是_____。

9. 乙酸俗称____，化学式是____，结构简式是____，—COOH名称是____。乙酸是一种____酸，其酸性比碳酸____，无水乙酸又称为____。

二、选择题

1. 组成有机物的主要元素是（　　）。

A. O　　B. C　　C. C和H　　D. C、H、O

2. 大多数有机物完全燃烧的最终产物是（　　）。

A. CO　　B. CO_2　　C. CO_2和H_2O　　D. CO和CO_2

3. 下列关于烃的说法中，正确的是（　　）。

A. 烃是指分子里含有碳、氢两种元素的化合物

B. 烃是指分子里含碳元素的化合物

C. 烃是指燃烧后生成二氧化碳和水的化合物

D. 烃是指仅由碳和氢两种元素组成的化合物

4. 下列物质中，互为同系物的是（　　）。

A. CH_4和$C_{10}H_{22}$　　B. CH_4和C_2H_4

C. C_2H_6和C_4H_6　　D. CH_3COOH和C_3H_8

5. 下列各组物质间，互为同系物的是（　　），互为同分异构体的是（　　），为同一种物质的是（　　）。

A. $CH_3-CH_2-CH_3$ 和 $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$

B. $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ 和 $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$

C. $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH_2}}$ 和 $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

D. $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ 和 $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$

6. 下列物质中，不能使溴水和酸性高锰酸钾溶液褪色的是（　　）。

A. C_7H_{14}　　B. C_3H_6　　C. C_5H_{12}　　D. C_4H_6

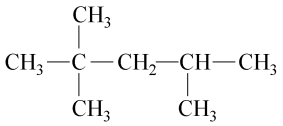
7. 下列物质中，能发生银镜反应的是（　　）。

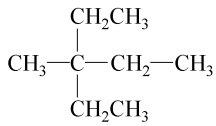
A. C_6H_5OH　　B. C_2H_5OH　　C. CH_3COOH　　D. CH_3CHO

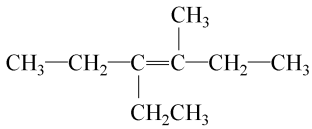
8. 下列物质中，酸性最强的是（　　）。

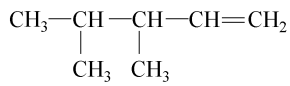
A. H_2CO_3　　B. H_2O　　C. CH_3COOH　　D. C_6H_5OH

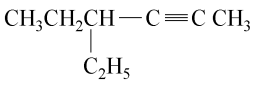
三、用系统命名法命名下列化合物

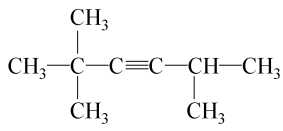
1. 

2. 

3. 

4. 

5. 

6. 

四、根据名称写出下列化合物的结构简式

1. 2－甲基－3－乙基戊烷　　2. 2，3，3 －三甲基戊烷

3. 3，4－二甲基－2－戊烯　　4. 2，5 －二甲基－3－乙基－3－己烯

5. 4，5－二甲基－2－己炔　　6. 4－甲基－3－乙基－1－戊炔

五、完成下列反应方程式

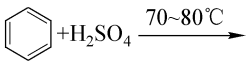
1. $CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{光照}$

2. $CH_3 - CH = CH_2 + HBr \rightarrow$

3. $CH_2 = CH_2 + Cl_2 \rightarrow$

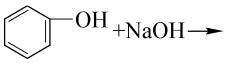
4. $n\ CH_2 = CH_2 \xrightarrow[加热、加压]{催化剂}$

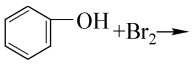
5. $CH_3 - C \equiv CH + 2H_2 \xrightarrow{Ni}$

6. 

7. $CH_3COOH + CH_3OH \underset{\triangle}{\overset{浓硫酸}{\rightleftharpoons}}$

8. $CH_3CH_2OH + Na \rightarrow$

9. 

10. 

11. $CH_3CHO + 2Cu(OH) \xrightarrow{\triangle}$

六、用化学方法鉴别下列各组化合物

1. 乙烷和乙烯　　2. 丙烯和丙炔

3. 丙炔和苯　　4. 苯酚和乙醇

5. 乙醛和乙酸　　6. 乙醇和乙酸

第七章　与农作物组成有关的重要有机物

本章学习要点

- 理解糖的概念，了解糖的分类和营养作用。
- 掌握几种重要糖的组成和化学性质。
- 掌握鉴别葡萄糖、蔗糖、麦芽糖、淀粉和纤维素的化学方法。
- 了解蛋白质、油脂的组成、结构和营养作用，掌握蛋白质、油脂的重要化学性质。
- 了解杂环化合物的分类、命名、几种重要杂环化合物及其衍生物的性质和用途。
- 了解生物碱的概念、性质以及几种重要生物碱的性质和用途。
- 了解高分子化合物的概念、结构特点，理解高分子化合物的主要特性。
- 了解塑料、合成纤维和合成橡胶三大有机合成材料及用途。

课堂活动

农作物是具有特殊使用价值的物质，它是人类生存最基本、最必需的生活资料和生产资料。在农业生产中，与人类生活密切相关的常见农作物有100多种，如水稻、大豆、棉花、花生、油菜、甘蔗、茶树、人参、染料、香料等。你知道这些常见的农作物都由哪些重要的有机物组成吗？而与农作物组成有关的这些重要有机物又有怎样的组成、结构、性质和用途呢？

第一节　糖

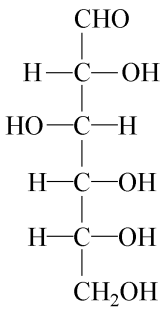
糖是自然界里存在最多、最重要的一类有机化合物。常见的糖有葡萄糖、果糖、蔗糖、淀粉、纤维素等，它们主要存在于植物体内，约占植物固体物质的80%左右，是绿色植物光合作用的主要产物，也是人类的主要食物之一，是生物体进行新陈代谢不可缺少的能源，人们每天摄取的热能中大约75%来自糖。同时，它们又是许多工业部门、如纺织、造纸、食品、发酵等工业的重要原料。

一、糖的概念及分类

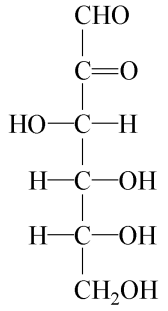
很早以前，人们从实践中发现葡萄糖、蔗糖、淀粉、纤维素等均是由碳、氢、氧三种元素组成的，其中氢和氧原子之比与水中氢和氧原子之比相同，均为2∶1，于是认为这类化合物是由碳和水结合而成的，并把这类化合物叫做碳水化合物，如葡萄糖的化学式为$C_6H_{12}O_6$，也可以用$C_6(H_2O)_6$来表示。随着科学的发展，有机化合物数量不断增多，人们发现有些化合物，如鼠李糖（$C_6H_{12}O_5$）和脱氧核糖（$C_5H_{10}O_4$），其结构和性质属于糖，但化学式却不符合上述通式；而有些化合物，如乙酸（$C_2H_4O_2$）、乳酸（$C_3H_6O_3$），它们的化学式虽然符合上述通式，但它们的结构和性质与糖不同。可见，碳水化合物这一名称并不确切，但因沿

用已久，现仍采用。

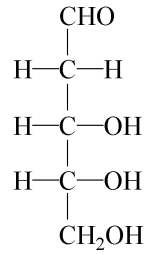
糖的确切概念是什么呢？先观察下面几种简单糖的结构式。



葡萄糖（$C_6H_{12}O_6$）



果糖（$C_6H_{12}O_6$）



脱氧核糖（$C_5H_{10}O_4$）

从上面的分子结构来看，葡萄糖含有五个羟基和一个醛基；脱氧核糖含有三个羟基和一个醛基，葡萄糖和脱氧核糖属于多羟基醛。果糖含有五个羟基和一个酮基，属于多羟基酮。而蔗糖、淀粉、纤维素等水解后也能生成葡萄糖、果糖等。糖的确切概念是：多羟基醛或多羟基酮以及水解后能够生成多羟基醛或多羟基酮的一类有机化合物。

根据糖能否水解及水解后生成的物质，常将它分为三大类。

（1）单糖。单糖是多羟基醛或多羟基酮，它们不能水解为更小的分子。例如葡萄糖、果糖等，它们是最简单的糖。

（2）低聚糖。低聚糖是由几个单糖分子脱水后结合而成的，水解后又生成组成它的单糖。按照水解后生成的单糖数目，低聚糖又可分为二糖、三糖、四糖等。其中，以二糖为最重要，例如蔗糖、麦芽糖和乳糖等都是二糖。

（3）多糖。多糖是由很多个单糖分子脱水后结合而成的高分子化合物，水解后又生成组成它的单糖。例如淀粉、纤维素等都是多糖。



科学家——沃尔特·诺曼·哈沃

哈沃（Haworth，Walter Norman，1883—1950 年），英国化学家，因糖类化学、维生素方面研究成就，在 1937 年与卡勒同获诺贝尔奖。

哈沃在圣安德鲁大学工作期间，与欧文从事糖类化学研究。在此以前，欧文与珀辖已把糖类首先转化为甲基醚以鉴定。哈沃则把此方法用于鉴定糖分子中产生闭环的关节点方面；还与赫斯特共同研究糖类分子结构、简单糖的环结构，特别是简单糖的环结构，指出甲基糖苷通常存在于呋喃糖环结构中。哈沃“端基”法是测定多糖重复单位特性的有效方法。

哈沃后期从事维生素研究。在伯明翰大学期间，与同事们共同阐明了维生素结构，并于 1933 年合成维生素 C。

在第二次世界大战期间，哈沃研究了用气体扩散法分离铀同位素，还研究了血浆的糖类代用品。哈沃的主要著作有《糖的构成》一书，于 1929 年出版。

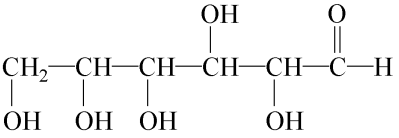
二、葡萄糖

自然界里的单糖种类很多，按分子中所含碳原子的数目可分为丙糖、丁糖、戊糖、己糖、庚糖等。分子中含有醛基的称为醛糖；分子中含有酮基的称为酮糖。单糖中最重要、应用最广的是己醛糖中的葡萄糖。

1. 葡萄糖的来源与结构

葡萄糖是广泛存在于蜂蜜和带甜味的水果汁以及植物的根、茎、叶、花和果实中。尤其在成熟的葡萄中含量较高（20% ~30%），因而得名。在人体和动物体的血液、脑脊髓及淋巴液中，都含有少量的葡萄糖。人体血液中的葡萄糖医学上叫血糖，在正常人的血液中，保持有 0.08% ~0.11% 的葡萄糖。

葡萄糖的化学式为 $C_6H_{12}O_6$，结构式为：



由结构可知，葡萄糖是一种含多个羟基的己醛糖。

2. 葡萄糖的性质和用途

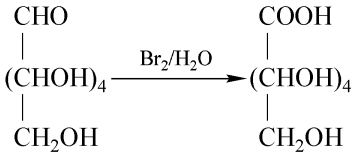
葡萄糖是无色晶体，具有甜味，易溶于水，难溶于酒精，微溶于乙酸，不溶于乙醚和苯。

葡萄糖是醛糖，分子中含有醛基，具有醛基的化学性质，易发生氧化反应和还原反应等。

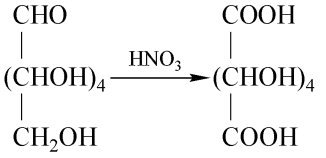
1）氧化反应

葡萄糖是醛糖，具有还原性，可被氧化剂氧化生成葡萄糖酸；氧化剂不同，产物不同。

葡萄糖能被弱氧化剂溴水氧化，生成葡萄糖酸。在这个反应中，红棕色溴水会褪色，我们可以用这一反应区别醛糖和酮糖。葡萄糖被较强的氧化剂稀硝酸氧化，则生成葡萄糖二酸。



葡萄糖酸



葡萄糖二酸

实践活动

在一支洁净的试管中加入费林试剂 A 液和 B 液各 2mL，然后加入 10% 的葡萄糖溶液 2mL，加热后，可观察到有砖红色的氧化亚铜沉淀。

葡萄糖也能被托伦试剂、费林试剂这些弱氧化剂所氧化，分别生成银镜和砖红色的氧化

亚铜沉淀。凡是能与托伦试剂和费林试剂发生反应的糖是还原糖，反之，是非还原糖。我们可以利用银镜反应和费林反应来区别还原糖和非还原糖。葡萄糖是还原糖。

相关链接

尿糖的检验

在固定条件（反应的酸碱度、温度）下，一定量的葡萄糖与一定量的费林试剂反应，生成 Cu_2O 的量是一定的。因此，用经验数据可以计算葡萄糖的含量。这一方法常用来测定生物样品中的葡萄糖含量。在临床上也常用这一方法来检验尿糖。

2）还原反应

葡萄糖分子中含有醛基可以发生还原反应。在催化剂 Cu－Cr 作用下加氢还原，醛基可转变为羟基，生成相应的己六醇（又叫葡萄糖醇或山梨醇）。葡萄糖醇存在于许多水果中。

$$\begin{array}{l}CHO\\|\\(CHOH)_4\\|\\CH_2OH\end{array}\xrightarrow{H_2/Cu\text{–}Cr}\begin{array}{l}CH_2OH\\|\\(CHOH)_4\\|\\CH_2OH\end{array}$$

葡萄糖是人体新陈代谢不可缺少的营养物质，是人类生命活动所需能量的重要来源。它在人体中经缓慢氧化而释放出能量，以供机体活动并保持体温。

$$C_6H_{12}O_6+6O_2\rightarrow 6CO_2+6H_2O+2840kJ$$

葡萄糖在医药上用做营养剂，并有强心、利尿、解毒等作用，同时也是制备某些药物的重要原料，如制备维生素 C、葡萄糖酸钙等药物。葡萄糖酸钙是一种重要的补钙质的药物、与维生素 D 并用，有助于骨质形成，可以治疗小儿佝偻病。

工业上，葡萄糖有很多应用，制镜业和热水瓶胆镀银常用葡萄糖做还原剂；在食品工业中用于制糖浆和糖果；在印染工业和制革工业中常用做还原剂等。

相关链接

食品添加剂

食品添加剂是指有意识地少量添加在食品里，以改善食品外观、风味、组织结构或储存性质的非营养物质。

现在使用的食品添加剂绝大多数是人工合成的化合物，它所起的作用概括如下。

（1）控制食品的化学变化、物理变化、微生物变化，以减少因食品变质而引起的损耗，降低微生物的危害，保证食品的质量。

（2）延长食品的有效保存期。

（3）便于食品加工，有利于加工工艺。

（4）改善食品的色、香、味和营养价值。

食品添加剂的种类繁多，主要有食用色素、食用香料、甜味剂、助鲜剂、酸味剂、保护剂（抗氧化剂、防腐剂等）、乳化剂、营养强化剂等。

1. 食用色素

食用色素是一类调节食品色泽的食品添加剂，它必须溶解在食品中。按来源不同，可以分为天然食用色素和人工合成食用色素。

天然食用色素越来越引起人们的重视，例如从胭脂虫提取的红色色素，称为胭脂红酸。天然食用色素经过长期使用，比较安全可靠。

人工合成食用色素的品种多，价格便宜，因此被广泛使用。例如，人工合成的β－胡萝卜素是一种黄色色素，用于制饮料、糕点、面包、冰淇淋等。人工合成食用色素现已逐步限制使用，但仍有少数不法奸商超标使用，严重危害人民健康。

2. 食用香料

食用香料是赋予食品香味的重要食品添加剂。它也有天然食用香料和合成食用香料之分。天然香料的组成复杂，都是多种化合物的混合物，它的香味大部分由一种主要的具有香味的化合物决定。例如，丁香油中含有85%的丁香酚，它是主要的香味物质。

合成香料是在模仿天然香料的基础上发展起来的。天然香料之所以具有各种香味，主要是由于包括醛、醇、酯、酮，因此，合成香料大多是这一类化合物。合成香料一般并不单独使用，通常是将许多种合成香料按一定比例调配，成为模拟天然香料的混合香料，它们被称为香精。例如，具有各种水果香味的香精，主要是由甲酸乙酯、乙酸乙酯、乙酸戊酯等按一定的比例配制而成的。

3. 甜味剂

甜味剂是指本身具有甜味，但几乎不产生热能且其营养价值又很低的物质。这种甜味剂可用于控制血糖升高、避免肥胖、控制体重和预防心血管疾病的发生，它还是某些疾病患者（如糖尿病患者）所必需的食糖代用品。

人们最熟悉的甜味剂是糖精，甜味约为蔗糖的300～500倍。吃少量的糖精，没有毒性，但也无营养价值。由于它是合成的，所以已被逐渐地淘汰。

现在，最受欢迎的是天然甜味剂，它们是由一些植物的根（如甘草）、叶（如甜叶菊）、果（如罗汉果）中取得的，它们的安全性远远比人工合成的糖精高。

4. 助鲜剂

人们最熟悉的助鲜剂是味精，它是能使食品呈鲜味感的一种物质。味精是一种无色至白色的结晶或粉末，易溶于水，有鲜味。实际上，它是食盐的助鲜剂，如果食物中不含氯化钠，味精就不显示鲜味。

经过分析，肉类具有鲜味是由于含有5’－肌苷酸，蕈类具有鲜味是由于含有5’－鸟苷酸。于是，这两种助鲜剂成了比味精更新型的品种，而且它们比味精具有更突出的优点，即它们单独存在时，鲜味虽不强，但如果与味精混合使用，可使味精的鲜味增加20～30倍。

5. 保护剂

防腐剂是能抑制和阻滞微生物（或细菌）的生长、对人体毒性极小的物质。它能杀死微生物，但不能改变食品的色、香、味，而又不必用一般的加热方法对食品进行灭菌。最常用的防腐剂有：

（1）苯甲酸，又称安息香酸。

（2）山梨酸，山梨酸的钾盐。

（3）丙酸钙。

（4）甲酸乙酯。

防腐剂不能防止因空气中的氧气而造成的食物变质，例如食物中的油脂氧化而变膻，是由于不饱和脂肪酸被氧化造成的。氧化作用还能使水果和蔬菜失去维生素 C，如苹果和梨的表面变成褐色。能防止食物被氧化的食品添加剂叫做抗氧化剂，主要有：

（1）维生素 C。

（2）二丁基羟基甲苯，对热和光都很稳定。

（3）丁基羟基茴香醚，对热稳定，但长时间见光会产生颜色。

（4）维生素 E。

三、蔗糖和麦芽糖

双糖是低聚糖中最重要的一类。凡是经水解后能生成两分子单糖的化合物称为双糖。双糖中最重要的是蔗糖和麦芽糖，化学式为 $C_{12}H_{22}O_{11}$，它们互为同分异构体。

（一）蔗糖

蔗糖是自然界中存在最广的二糖，广泛存在于植物的茎、叶、种子、根和果实内，在甜菜和甘蔗中含量最多，故称为蔗糖或甜菜糖。工业上是将甜菜或甘蔗经榨汁、浓缩、结晶等操作可制得食用蔗糖。

蔗糖为白色晶体，有甜味；易溶于水，溶于甘油，极微溶于乙醇。

蔗糖分子中不含醛基，因此不能与托伦试剂和费林试剂发生反应，不具有还原性，是一种非还原糖。在无机酸或酶的催化作用下可发生水解反应，生成一分子葡萄糖和一分子果糖。

$$C_{12}H_{22}O_{11}+H_2O \xrightarrow{H^+ \text{或酶}} C_6H_{12}O_6+C_6H_{12}O_6$$

葡萄糖　果糖

蔗糖水解为单糖的过程称为转化过程，生成的混合单糖也称为转化糖。因为转化糖含有一半果糖，所以转化糖比原来的蔗糖更甜。

实践活动

在两支试管中，各加入 10% 的蔗糖溶液 1mL，在一支试管中加入三滴 1∶5 的稀硫酸，把这一试管中的混合物煮沸几分钟，使蔗糖发生水解反应。再加入氢氧化钠溶液中和其中的硫酸。然后分别向两支试管里各加入费林试剂 2mL，把两支试管放在水浴中加热。对比两支试管里的反应，观察是否发生费林反应。

蔗糖是人类日常生活中不可缺少的食用糖，除食用外，还用于制柠檬酸、焦糖，转化糖、透明肥皂等。在医药上用做调味剂，常制成糖浆。蔗糖高浓度时能抑制细菌生长，因此可用做医药上的防腐剂和抗氧化剂。

（二）麦芽糖

麦芽糖的化学式是 $C_{12}H_{22}O_{11}$，它是蔗糖的同分异构体。自然界中不存在游离的麦芽糖。通常，麦芽糖是用含有淀粉较多的农产品（如大米、玉米、薯类等）作为原料，在淀粉酶（存在于大麦芽中）的作用下，约 60℃时，发生水解反应而生成的。

$$2(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow[60℃]{\text{淀粉酶}} nC_{12}H_{22}O_{11}$$

麦芽糖

唾液中也有淀粉酶，也能使淀粉水解为麦芽糖，所以细嚼淀粉食物后常有甜味感。

麦芽糖是无色片状晶体，易溶于水，甜味不如蔗糖，甜度为蔗糖的40%。

麦芽糖属于还原糖，能发生银镜反应和费林反应。麦芽糖在无机酸或酶的作用下发生水解，得到两分子葡萄糖。

$$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{H^+ \text{或酶}} 2C_6H_{12}O_6$$

葡萄糖

麦芽糖是饴糖的主要成分，主要用于食品工业中。麦芽糖易为动物消化，是一种廉价的营养剂；也可作为微生物的培养剂。

四、淀粉和纤维素

多糖是一类复杂的天然有机高分子化合物，广泛存在于自然界中。多糖是由许多相同或不相同的单糖分子脱水结合而成的化合物。多糖的相对分子质量高达几万或几十万。自然界中最常见的多糖是由己糖构成的，可用通式$(C_6H_{10}O_5)_n$表示。多糖的性质与单糖、低聚糖有明显区别。一般为无定形固体，难溶于水，无甜味，没有还原性，水解的最终产物是单糖。

淀粉和纤维素都是重要的多糖，化学式为$(C_6H_{10}O_5)_n$，淀粉和纤维素分子中里所包含的单糖单元（$C_6H_{10}O_5$）的数目不同，即n值不同，它们的结构也有所不同，所以不是同分异构体。

（一）淀粉

淀粉是绿色植物进行光合作用的产物，是人类食物的重要成分，大量存在于植物的种子、块根和茎中。其中，谷类植物中含有大量淀粉，例如大米中含淀粉62%～82%，小麦中含57%～75%等。

淀粉是一种白色的无定形粉末。淀粉按结构特点可分为直链淀粉和支链淀粉两种，它们在淀粉中所占的比例有所不同，直链淀粉占10%～30%，支链淀粉占70%～90%。

直链淀粉又称可溶性淀粉，是由几百个葡萄糖单元（$C_6H_{10}O_5$）脱水结合而成的链状化合物，它的相对分子量从几万到十几万。直链淀粉不溶于冷水，但能溶于热水而不成糊状。直链淀粉遇碘溶液显蓝色。

支链淀粉又称淀粉皮质，是由几百个或几千个葡萄糖单元（$C_6H_{10}O_5$）脱水结合而成的链状化合物，分子链中有许多支链，约每相隔20个葡萄糖单元有一个分支，它的相对分子量从几十万到几百万。支链淀粉不溶于冷水，但能溶于热水并与热水作用因膨胀而成糊状。支链淀粉遇碘溶液显蓝紫色。一般淀粉以含支链淀粉为主，故遇碘溶液呈深蓝色。可用于淀粉的检验。

实践活动

取一支干燥洁净的试管，加入2mL 10g·L^{-1}淀粉溶液，再滴入2滴碘溶液，观察现象。

在粮食作物的种子中，既含有直链淀粉，也含有支链淀粉。含支链淀粉较高的淀粉，蒸煮后黏性较大。例如，粳米支链淀粉含量比小米多，糯米中几乎100%是支链淀粉，所以黏性更大。我们煮稀饭就是淀粉膨胀破裂的过程，这也是选择不同的米煮出的饭的黏性不同的原因。

淀粉在酸或酶的催化下，能发生水解，最后生成葡萄糖。

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow{H^+ \text{或酶}} nC_6H_{12}O_6$$

淀粉没有还原性，不发生银镜反应和费林反应，属于非还原糖。

淀粉除做食物外，也是工业上的重要原料。淀粉经发酵可制得乙醇、丙酮和丁醇等。近年来，还用淀粉氧化制备草酸。淀粉还可以用于纺织品的上浆及医药上用于生产葡萄糖。

（二）纤维素

纤维素是自然界中分布最广、含量最丰富的有机高分子多糖类化合物。它是构成植物细胞壁的主要成分。例如，木材含纤维素约50%，亚麻约80%，棉花含90%以上，竹子、麦秆、稻草、野草、芦苇等也含有大量的纤维素。

纤维素是由许多葡萄糖单元脱水结合而成的没有分支的长链高分子化合物，它的分子中约含几千个葡萄糖单元（$C_6H_{10}O_5$），相对分子质量约为几十万。化学式为$(C_6H_{10}O_5)_n$。

纯净的纤维素是无色、无味、无臭的纤维状物质，不溶于水，也不溶于一般的有机溶剂；没有还原性，不发生银镜反应和费林反应，属于非还原糖。纤维素比淀粉更难水解，但在高温、高压和无机酸的作用下可以发生水解，水解的最终产物是葡萄糖。

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow[\text{高温、高压}]{\text{稀酸}} nC_6H_{12}O_6$$

草食性动物（如马、牛、羊等）消化道中能分泌纤维素酶，使纤维素水解成葡萄糖，所以纤维素是草食性动物的主要营养物质。人体消化道中没有使纤维素水解的酶，但人可食用一些含纤维素的食物，如玉米、大麦、燕麦、水果、蔬菜等，增加胃肠蠕动，有利于人体健康。

纤维素分子由许多个葡萄糖单元构成，单元中的醇羟基可以与一些试剂作用，生成纤维素的衍生物。例如，纤维素与混酸（浓硝酸和浓硫酸的混合物）作用，生成纤维素硝酸酯，是制造无烟火药、塑料和油漆的原料；纤维素与醋酸和酸酐的混合物作用生成的纤维素醋酸酯可用于制造胶片和香烟过滤嘴。纤维素还可以制造粘胶纤维和纸张等。



糖类的营养作用

糖是人类膳食中非常重要的一种营养成分，其营养作用归纳起来，表现在以下几个方面。

1. 供给能量，维持体温

人体像机器，只有供给足够的能量，才能活动和工作。人体所需要的能量的60%～70%来自糖。特别是脑组织全依赖于葡萄糖供能。一旦血糖降低，脑组织可因缺乏能源而使脑细胞功能受损，造成功能障碍，人便会出现昏迷、休克甚至死亡。食物中的糖主要以淀粉形式提供。淀粉需经过消化为葡萄糖后才能被人体吸收利用。

2. 构成神经组织和细胞

人体内所有的神经组织和细胞均含有糖类物质，糖与脂类结合形成糖脂，是神经组织和细

胞膜的重要成分。糖与蛋白质结合成的糖蛋白是构成人体软骨、骨骼和眼球角膜的成分之一。

3. 避免酸中毒

当糖供应充足时，脂肪氧化才能彻底，机体就不会过多动用脂肪，也就不会产生过量的酮体。酮体是酸性物质，它在血液中含量过高会引起酸中毒。

4. 保护肝脏，增强解毒功能

人体吸收的糖除供给热能外，多余的便合成为肝糖原储存在肝脏里，既能增强肝细胞的再生力，促进肝脏的代谢，又可保护肝脏本身免受一些有害物质的侵害，如对某些化学毒物（酒精、四氯化碳、砷等）及细菌感染均有解毒作用。

5. 有节约蛋白质的作用

当供给人体充足的糖时，便可避免把蛋白质作为机体的能量而消耗，从而使蛋白质能用于最需要的地方，这就是糖对蛋白质的节约作用。

6. 帮助肠蠕动，促进消化，防止便秘和结肠癌

糖中的纤维素、半纤维素和果胶等膳食纤维，它们虽然不为人体所消化吸收，但它们能促进胃肠蠕动和消化液的分泌，故有助于正常消化和粪便排出，从而防止便秘和结肠癌。

膳食中糖类的来源主要是谷类和根茎类食品。例如各种粮食和薯类，它们含有大量淀粉和少量的单糖和二糖。蔬菜、水果中除含少量外，也是食物中纤维素的主要来源。

第二节　蛋　白　质

蛋白质广泛存在于生物体内，是组成细胞的基础物质。动物的肌肉、皮肤、发、毛、蹄、角等主要成分都是蛋白质。蛋白质是构成人体的物质基础，它约占人体固体成分的45%。许多植物（如大豆、花生、小麦、稻谷）和种子里也含有丰富的蛋白质。一切重要的生命现象和生理机能都与蛋白质有关，例如在生物新陈代谢过程中起催化作用的酶；调节物质代谢的某些激素。输送氧气的血红蛋白，以及引起疾病的细菌、病毒、抵抗疾病的抗体等都含有蛋白质。蛋白质是生命的基础，没有蛋白质就没有生命。

1965 年，我国在世界上首次人工合成了具有生理活性的蛋白质——牛胰岛素；1971 年，又完成了对猪胰岛素的测定工作，为蛋白质科学的发展做出了重大贡献。



蛋白质的营养作用

蛋白质是人类膳食中非常重要的一种营养成分，其营养作用归纳起来，表现在以下几个方面。

1. 构成机体、修补组织

蛋白质是构成生物机体组织不可缺少的物质，人体的细胞主要由蛋白质组成。儿童、少年必须进食蛋白质比较丰富的膳食，才能满足其生长发育的需要，否则会患“金孩症”；成年人必须进食足够的蛋白质，才能维持其组织在新陈代谢过程中的更新。人的机体组织有创伤时，也需要蛋白质作为修补原料。食物蛋白质最重要的营养作用就是为机体提供所需要的各种氨基酸，作为机体的氮素来源，这是其他营养物质不能代替的。

2. 调节生理功能

机体内的各种酶能调节新陈代谢，激素能调节生理机能，免疫蛋白能增强人体对感染的抵抗力，血浆蛋白能维持血液胶体渗透压，这些物质都直接或间接来自蛋白质。此外，血红蛋白参与体内氧的转运，肌球蛋白促进肌肉收缩运动，核蛋白是重要的遗传物质等，都体现出蛋白质是调节生理功能不可缺少的物质。

3. 供给能量

蛋白质虽然不是人体新陈代谢所需要能量的主要来源，但是氨基酸的碳骨架同样可以进行氧化供给能量，支持人体的生理活动，促进体内生物化学反应。因此，当糖和脂肪摄入不足，或人体急需能量不能及时得到满足时，常需要蛋白质提供能量，每克蛋白质在体内氧化可提供约 16. 7kJ 的能量。

4. 维持机体的酸碱平衡

由于氨基酸和蛋白质具有酸、碱两性性质，因而可以和无机缓冲体系一起，维持机体的酸碱平衡。

蛋白质是如此的重要，因此在人类的膳食中必须保持一定的含量，一般成人每日需要量为 80～90g。蛋白质摄取不足或过量，对人体健康都不利。当蛋白质摄取不足时，将严重影响人的生长发育及身体健康，轻者表现为疲乏、体重减轻、机体抵抗力下降等；重者表现为生长发育停滞、贫血、智力发育受阻，严重时可发生干瘦型蛋白缺乏症或水肿型蛋白缺乏症。如果长期大量摄入蛋白质，超出人体维持平衡的需要，那么过量的蛋白质不但不能被吸收利用，而且增加消化道、肝脏和肾脏的负担，反而对健康不利。

一、氨基酸

（一）蛋白质的元素组成

根据元素分析，蛋白质中除主要含有碳、氢、氧外，所有的蛋白质都含有氮，多数蛋白质含有少量的硫，有的蛋白质含有磷，若干特殊蛋白质含有少量铁、铜、锌、锰、钴、钼、碘等。

各种蛋白质的含氮量很接近，一般为 15% ～17%，平均为 16%。由于体内组织的主要含氮物是蛋白质，因此，只要测定生物样品中的氮含量，就可以按下式推算出蛋白质大致含量。

每克样品中含氮克数 ×6. 25 ×100 =100g 样品中蛋白质含量（g%）

（二）蛋白质的基本组成单位——氨基酸

各种不同来源的蛋白质，在酸、碱或酶的作用下，水解的最终产物都是各种不同的氨基酸。这说明组成蛋白质分子的基本单位是氨基酸。构成天然蛋白质的氨基酸共有 20 种，如甘氨酸、谷氨酸、天门冬氨酸等。



完全蛋白质和蛋白质的互补作用

组成天然蛋白质的氨基酸有 20 种，其中 8 种是人体不能合成、必须从食物中得到的。没有它们会引起疾病，所以称它们为必需氨基酸。

8 种人体必需氨基酸，可以用几句顺口溜来记住它们：

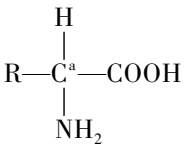
苏缬亮异亮，苯丙属芳香，

还有色赖与蛋，缺一人遭殃。

鱼、肉、蛋、乳类等动物性食品的蛋白质属于完全蛋白质。植物性食品（如大米、面粉、大豆等）的蛋白质往往缺乏赖氨酸、蛋氨酸、苏氨酸或色氨酸，属于不完全蛋白质，这种蛋白质的营养价值较低。

不同食物的蛋白质的 8 种必需氨基酸的含量和比例也不相同。如果把这些不同的食物适当混合食用，可使其中相对不足的必需氨基酸互相补偿，从而满足人体对各种氨基酸的需求，提高蛋白质的营养价值，这种作用称为蛋白质的互补作用。在日常膳食中，提倡荤素杂吃、粮菜兼食、粮豆混食、粗粮细作，从营养角度看都是非常必要的。

蛋白质水解生成的各种氨基酸在结构上有一个共同点，即都是 α—氨基酸，其结构通式如下：



化学与生活

松花蛋上的“花纹”是什么？

松花蛋又名皮蛋。当剥掉它外面的那层泥和蛋壳以后，就露出了青褐色、半透明的蛋白。再仔细瞧瞧，蛋白中还嵌着一朵朵漂亮的松叶状结晶花纹，人们称之为松花。松花蛋也因此而得名。可是，松花蛋上的松花是从哪里来的呢？

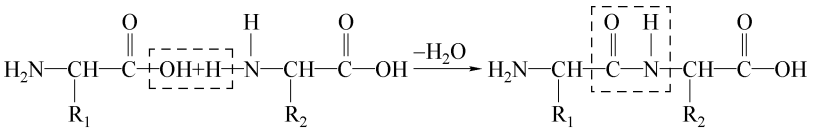
原来，松花蛋上的松花，是经过一场化学反应“雕”成的：蛋白的主要化学成分是蛋白质，禽蛋放置时间一长，蛋中的部分蛋白质会分解成氨基酸。氨基酸的化学结构很有趣，它有一个碱性的氨基和一个酸性的羧基。因此，它既能与酸性物质作用，又能与碱性物质作用。人们在制造松花蛋时，特意在泥巴里加入了一些碱性物质，如石灰、碳酸钾、碳酸钠等。它们会穿过蛋壳上的细孔，跑到蛋里与氨基酸化合，生成氨基酸盐。这些氨基酸盐不溶于蛋白，于是就以一定的几何形状结晶出来。那漂亮的松花，正是这些氨基酸盐类的结晶体。

二、蛋白质

（一）蛋白质的结构

1. 蛋白质的一级结构

蛋白质分子中氨基酸的连接是氨基酸分子之间经脱水后通过酰胺键（肽键）相互连接起来的。

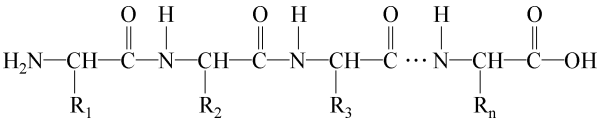


α－氨基酸　　α－氨基酸　　二肽

氨基酸分子之间以肽键相连而成的化合物叫肽。由两个氨基酸脱水结合而成的肽叫二肽，三个氨基酸脱水结合形成三肽。以此类推，多个氨基酸则形成多肽的长链叫多肽链。

氨基酸分子与氨基酸分子以肽键相连接时，都要失去某些部分，而不再是一个完整的氨基酸分子，因而在肽链中的氨基酸，常叫做氨基酸残基。因此，可以这样说：蛋白质结构的基本形式是由许多氨基酸分子以残基形式通过肽键连接而成的多肽长链。

肽链两端的氨基酸残基叫末端氨基酸。通常，将在 α－碳原子上连有游离氨基的一端叫 N－端；而将在 α－碳原子上连有游离羧基的一端叫 C－端。习惯上，常把 N－端写在肽链的左边，C－端写在肽链的右边。



N－端　　C－端

蛋白质分子中含有几百几千甚至上万个氨基酸残基，这些氨基酸残基严格按照一定比例和一定顺序通过肽键连接成多肽长链。这种多肽长链通常叫做蛋白质的一级结构。

由于分子巨大和氨基酸很多，蛋白质的一级结构非常复杂。各种蛋白质的主要差别，首先是它们具有不同的一级结构。

蛋白质分子的一级结构是各种 α－氨基酸以一定比例和顺序连接而成的多肽长链。蛋白质与多肽虽然没有严格界限，但与一般的多肽又有所不同，这是因为蛋白质除一级结构外，还存在着空间结构。

2. 蛋白质的空间结构

蛋白质的空间结构也叫高级结构，是指蛋白质分子中的原子和基团在空间的排列分布以及肽链的走向。蛋白质的空间结构主要包括二级、三级和四级结构。

1）二级结构

二级结构是指多肽链按照一定方式盘曲或折叠。蛋白质的二级结构主要是 α－螺旋结构和 β－折叠结构。

α－螺旋结构是蛋白质多肽链靠氢键作用像螺旋样盘曲而呈螺旋状，如图 7-1 所示。羊毛等纤维状蛋白质中的二级结构主要是 α－螺旋结构。

β－折叠结构是由肽链间的氢键将肽链拉在一起形成的折叠片状。丝心蛋白中就有 β－折叠结构。

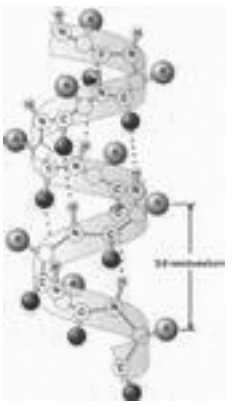


图 7-1　α－螺旋结构

2）三级结构

蛋白质的三级结构是指多肽链在二级结构的基础上，按照一定方式进一步折叠、盘绕形成的近似球形的紧密结构，又称为螺旋结构。例如，球蛋白的三级结构就是在二级结构的基础上进一步卷曲、盘绕

而成的球形结构，如图 7-2 所示。

用 X 射线衍射法测定蛋白质晶体的空间结构是近年来分子生物学的重大突破，为此已颁发过四次诺贝尔奖。1971—1973 年，我国科学工作者也成功地用 X 射线衍射法完成了猪胰岛素晶体结构的测定工作。

3）四级结构

在具有四级结构的蛋白质分子中，每一条具有三级结构的多肽链称为一个亚基。蛋白质的四级结构是指两个或两个以上亚基按照一定方式进一步折叠、盘绕形成的更加复杂的空间结构。由四个亚基构成的血红蛋白的四级结构如图 7-3 所示。



图 7-2　球蛋白的三级结构示意图

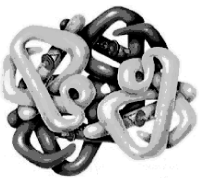


图 7-3　血红蛋白的四级结构示意图

（二）蛋白质的性质

多数蛋白质易溶于水，不溶于有机溶剂。也有的难溶于水，如丝、毛等。蛋白质除了水解为各种 α—氨基酸及具有酸碱两性外，还具有以下性质。

1. 盐析

实践活动

在盛有 5% 鸡蛋清溶液的试管中，缓慢地加入饱和 $(NH_4)_2SO_4$ 或 Na_2SO_4 溶液，观察沉淀的析出。然后，把少量带有沉淀的液体加入盛有蒸馏水的试管里，观察沉淀是否溶解。

在蛋白质的水溶液中，加入一定量的无机盐（如硫酸铵、硫酸镁、氯化钠、氯化铵等）溶液后可使蛋白质的溶解度降低，而从溶液中析出。这种作用称为盐析。这是一个可逆过程，盐析出来的蛋白质仍可再溶解于水中，并且其结构和性质不发生变化。所有的蛋白质在浓的盐溶液中都可沉淀出来，但不同的蛋白质盐析出来时，盐的最低浓度是不同的。利用这个性质采用多次盐析和溶解，可以分离、提纯不同的蛋白质。

化学与生活

豆浆变成豆腐脑

豆腐是怎样做成的？把黄豆浸在水里，泡涨变软后，在磨盘里磨成豆浆，再滤去豆渣，煮开。这时，黄豆里的蛋白质粒被水簇拥着不停地运动，形成了“胶体”溶液。

要使胶体溶液变成豆腐，必须点卤。点卤用盐卤或石膏，盐卤主要含氯化镁，石膏是硫酸钙，它们能使分散的蛋白质团粒很快地聚到一起，成了白花花的豆腐脑。再挤出水分，豆腐脑就变成了豆腐。

有人爱喝甜豆浆，往豆浆里加一匙白糖，豆浆没有什么变化。有人爱喝咸豆浆，在豆浆

里倒些酱油或加点盐，不久，碗里就会出现白花花的豆腐脑。酱油里有盐，盐和盐卤性质相近，也能破坏豆浆的胶体状态，使蛋白质凝聚。

牛奶和豆浆差不多，也是胶体溶液。在新鲜的牛奶里，酪素，也就是蛋白质包裹着奶油，在水里分散开来，不停地运动着。所以，牛奶总是均匀的乳白色液体。让牛奶发酵，做成酸牛奶，酪素就聚集起来，凝结成块，像豆腐脑似的。

2. 变性



在两支试管中各加入3mL 5%鸡蛋清溶液，将其中一支试管加热，同时向另一支试管中加入少量乙酸铅溶液，观察发生的现象，把凝结的蛋白质和生成的沉淀分别放入两支盛蒸馏水的试管中，观察是否溶解。

许多蛋白质在受热、紫外光照射或酸、碱、重金属盐作用时，蛋白质的性质会发生改变，溶解度降低，甚至凝固，这种现象称为蛋白质的变性。蛋白质的变性主要是由于其分子结构发生了变化所致，所以变性是不可逆的。蛋白质变性后不仅丧失原有的可溶性，也失去了它原有的许多生理功能。

蛋白质的变性作用有许多实际的应用。例如，用酒精、蒸煮灭菌就是使细菌的蛋白质凝固从而使细菌死亡。在医疗上，抢救误服重金属盐（如铜盐、铅盐、汞盐等）中毒的患者，常给患者口服大量含蛋白质丰富的生鸡蛋、牛奶或豆浆使重金属与之结合而生成变性蛋白质，减少了人体蛋白质的受损，再用催吐剂将结合的重金属盐呕出，达到解毒的目的。但是，在制备血清、疫苗、酶等蛋白质制剂时，应避免其变性失去生物活性。此外，延缓和抑制蛋白质的变性，也是人类保持青春、防止衰老的一个有效途径。

3. 颜色反应

蛋白质能和许多试剂发生特殊的颜色反应，常用于蛋白质的鉴别。

1）缩二脲反应

蛋白质分子中含有多个肽键（—CONH—），当在蛋白质溶液中加入氢氧化钠溶液及数滴硫酸铜稀溶液时，呈现紫色。

2）黄蛋白反应

分子中含有苯环的蛋白质，与浓硝酸作用，立即呈现黄色。这是由于苯环发生了硝化反应，生成了硝基化合物。若再用氨水处理，则又变成橙色。皮肤接触硝酸，立即变黄，便是蛋白质黄蛋白反应的例子。

3）与水合茚三酮反应

蛋白质与水合茚三酮在加热的条件下发生反应，呈现蓝紫色，反应非常灵敏，其灵敏度可达十万分之一的浓度。这个反应在蛋白质的鉴定上极为重要。



取一支试管，加入1mL 5%的鸡蛋清溶液，滴入水合茚三酮溶液2～3滴，并在水浴上加热，观察现象。

此外，蛋白质（如羊毛、蚕丝等）被灼烧时，会产生具有烧焦羽毛的气味，可用于鉴别它们。

相关链接

营养与平衡膳食

俗话说：人是铁，饭是钢，一顿不吃饿得慌。人为什么要吃饭呢？是因为食物中含有许多有用的物质，如糖、脂肪、蛋白质、矿物质、水、维生素等，通常把这些物质称为营养素。食物中的这些物质在人体内发生化学变化，使之成为人体所需要的营养物质。人靠饮食维持生命，人若不吃食物，就不能生存。饮食中保持各种营养素在质和量上都与人体需要平衡，避免过剩或不足而造成的偏差，甚至导致某些营养性疾病的发生，以达到合理营养、促进健康的目的，这种膳食称为平衡膳食。

平衡膳食要求每日膳食中食物组成应类多而丰富，类别宜有米面及薯类、豆类、禽畜、肉类、乳类、蛋类、水产类、蔬菜类、水果类、食用油类、调味品类。品种宜适当搭配，如米面，每日量约需500g，宜各占一定比例，适当搭配粗粮，粗粮中赖氨酸含量较高，可补细粮之不足。主副食各占一定比例，副食中荤、素食品需合理搭配，荤菜每日约100～200g，素菜每日需500g左右，副食品种甚多，同类副食品还需经常调换其品种。此外，应配以适量的水果（50～200g）。这样，不仅营养素可以起互补作用，使充分发挥各自的营养价值，而且能刺激食欲，增多食量，增强消化吸收。

实践活动

糖和蛋白质的重要化学性质

1. 葡萄糖的还原性

在干燥洁净的试管中加入0.1mol·L^{-1} $AgNO_3$溶液2mL，逐滴加入2mol·L^{-1} $NH_3\cdot H_2O$，边滴边振荡，直至生成的沉淀刚好溶解为止，即得托伦试剂。然后，在托伦试剂中加入0.3mol·L^{-1}葡萄糖溶液1mL，将试管置于60℃水浴中加热5min，取出试管，可以观察到试管中有_____产生。

2. 淀粉与碘的反应

在干燥洁净的试管中加入2mL水和0.5mL 2%淀粉溶液，再加入1滴0.1%碘溶液，可以观察到试管中溶液变成_____色。

3. 蛋白质的盐析作用

取1mL鸡蛋清溶液于干燥洁净试管中，慢慢加入1mL饱和$(NH_4)_2SO_4$溶液，观察试管中有_____产生。加水2mL，轻轻振荡，观察试管中_____溶解。

4. 蛋白质的变性作用

（1）加热：取1支干燥洁净试管，注入3mL鸡蛋清溶液，在酒精灯上加热，观察试管中有_____产生。

（2）重金属盐：取1支干燥洁净试管，加入1mL鸡蛋清溶液，在试管中加1滴饱和醋酸铅溶液，观察试管中有_____产生。

（3）有机溶剂：取1支干燥洁净试管，加入1mL鸡蛋清溶液，在试管中加入1mL无水乙醇溶液，混匀，观察试管中有_____产生。

5. 蛋白质的颜色反应

在1支干燥洁净试管中加入鸡蛋清溶液1mL，再加入1mL 10% NaOH和2滴1% $CuSO_4$，观察试管中溶液变成_____色。

实验内容	所需试剂	所需仪器
7-1 糖和蛋白质的重要化学性质	0.1mol·L^{-1} $AgNO_3$、2mol·L^{-1} $NH_3·H_2O$、0.3mol·L^{-1}葡萄糖溶液，10g·L^{-1}淀粉溶液、碘水、鸡蛋清溶液、饱和$(NH_4)_2SO_4$溶液、饱和醋酸铅溶液、无水乙醇、10% NaOH、1% $CuSO_4$	试管、试管夹、试管架、烧杯、量筒、温度计、石棉网、酒精灯

第三节 脂　　类

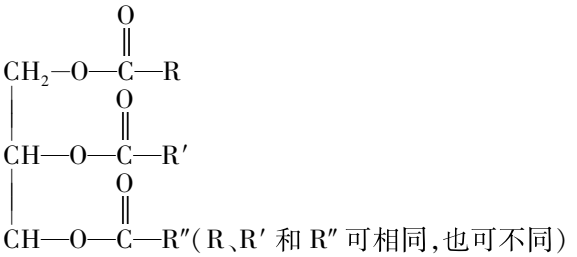
脂类包括油脂、磷脂等。它们存在于一切动植物细胞中，是组成原生质的一类重要有机化合物，在生物体内有着很重要的生理功能。

油脂普遍存在于动、植物体内，是一种重要的储藏物质。植物油脂大部分存在于植物的果实和种子中，油料作物种子的含油量较多，有的可达50%以上。动物油脂在皮下蜂窝组织及网膜组织中含量较多，在肌肉内含量较少。

油脂是人类三大营养物质之一，是人类必需的高能量的食物。含不饱和脂肪酸的油脂对人体的新陈代谢有着重要的作用，它可以防止由于脂肪的沉积而导致血管阻塞（血栓），如月见草油是抗血栓、降血脂的药物。油脂也是工业上重要的原料。

一、油脂的组成和结构

油脂是高级脂肪酸的甘油酯。结构式表示如下：



组成油脂的脂肪酸很多，但绝大多数是含偶数碳原子的直链羧酸，其中有饱和的，也有不饱和的。从动物所得的油脂，大多数是饱和脂肪酸甘油酯，在常温下呈固体或半固体状态称为脂肪；从植物得到的油脂，主要是不饱和脂肪酸甘油酯，熔点较低而呈液体状态称为油。天然油脂都是多种甘油酯的混合物。在油脂成分中，最常见的脂肪酸有：

软脂酸（十六酸）$C_{15}H_{31}COOH$

硬脂酸（十八酸）$C_{17}H_{35}COOH$

油酸（9－十八碳烯酸）$CH_3(CH_2)_7CH = CH(CH_2)_7COOH$

亚油酸（9，12－十八碳二烯酸）$CH_3(CH_2)_4CH = CH\ CH_2\ CH = CH(CH_2)_7COOH$

二、油脂的性质

纯净的油脂是无色、无味、无臭的物质，常因含有色素和杂质而显不同的颜色，并有不同的气味。油脂比水轻，不溶于水而易溶于乙醚、汽油、苯、丙酮、四氯化碳和酒精等有机

溶剂中。油脂是一种混合物，没有固定的熔点，但各种油脂都有一定的熔点范围，例如猪油为 36～46℃。

化学与生活

咸鸭蛋蛋黄里的油是从哪里来的？

很多人喜欢吃咸鸭蛋，特别是油滋滋的咸蛋黄，吃起来又香又鲜。可是，你知道咸蛋黄里的油是从哪里来的吗？

鸭子由于喜食螺丝等富含脂肪和蛋白质的食物，所以鸭蛋不但含有丰富的蛋白质，而且也含有许多脂肪。经测定鸭蛋中的脂肪约占 16%，其中 99% 以上“居住”在蛋黄里，蛋黄几乎三分之一是由脂肪组成的。

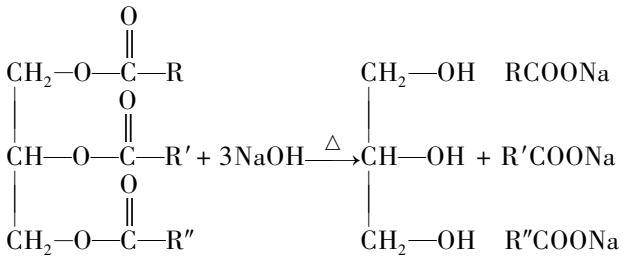
由于蛋黄中的蛋白质是一种高明的乳化剂，它能够把蛋黄中的脂肪分散成很小的油滴。可是，把蛋做成咸蛋后，作为乳化剂的蛋白质被盐析，那些原来分散的极小的油滴，就“不得不”彼此聚集起来，变成大油滴。

由于蛋黄中脂肪的含量高达 30% 左右，因此咸蛋一经煮熟后，整个蛋黄就变成油滋滋的，用筷子一戳，就会冒出金黄色的油滴来了。

根据油脂的结构，油脂具有烯烃和酯类的某些性质，可以发生加成反应、水解反应和氧化反应等。

1. 水解反应

油脂在酸的催化下，可水解生成甘油和脂肪酸，是工业上生产甘油和脂肪酸的一种方法。油脂在碱性条件下水解时，则生成高级脂肪酸盐，也就是肥皂，因此油脂在碱性条件下的水解反应又叫皂化反应。



油脂　　甘油　　高级脂肪酸盐（肥皂）

肥皂是人们生活中不可缺少的洗涤用品，但不宜在酸性介质或硬水中使用，因为硬水中含有 Mg^{2+} 或 Ca^{2+}，能和肥皂形成不溶于水的脂肪酸镁盐和钙盐，在酸性水中则形成难溶于水的高级脂肪酸。根据肥皂的去污原理，工业上已制造了多种合成洗涤剂（表面活性剂）用于代替肥皂，可弥补肥皂的不足。

实践活动

肥皂的制备

取 50mL 干净小烧杯 1 个，加入 1 匙猪油（约 4g），再加入 15mL 乙二醇、15mL 30% NaOH 溶液，置于酒精灯上加热，约 5～6min 后反应趋向完全。取_____一根蘸取皂化液滴入沸水中，如能完全溶解而无_____析出，表明皂化反应已经完成。

在制得的黏稠皂化液中，加入热的饱和_____溶液至近烧杯口，用_____搅拌，使肥皂盐析而出，浮在液面，取出冷却，_____即凝固而成。

2. 加成反应

不饱和脂肪酸甘油酯，可以与 H_2 和 I_2 等发生加成反应。

1）催化加氢

不饱和脂肪酸甘油酯加氢后可以转化为饱和程度较高的固态或半固态的酯，这种加氢的油脂称为氢化油或硬化油。

$$\begin{array}{l} C_{17}H_{33}COOCH_2 \\ | \\ C_{17}H_{33}COOCH \\ | \\ C_{17}H_{33}COOCH_2 \end{array} + 3H_2 \xrightarrow[\triangle]{N_i} \begin{array}{l} C_{17}H_{35}COOCH_2 \\ | \\ C_{17}H_{35}COOCH \\ | \\ C_{17}H_{35}COOCH_2 \end{array}$$

三油酸甘油酯（油）　　三硬脂酸甘油酯（脂肪）

工业上可用油脂的氢化反应，把植物油转化成硬化油。硬化油饱和程度好，不易被空气氧化变质，便于储藏和运输，还能用来制造肥皂、甘油、人造奶油等。



人 造 黄 油

1869 年，法国闹黄油荒，法国皇帝拿破仑三世考虑到其军队的供给，发布命令提供奖金用于奖励那些能发明像黄油那样营养和适口的替代食品的人。

法国化学家麦琪·毛里斯受奖金的诱惑，进行了人造黄油的研制，并于 1870 年取得成果。他实验的方法是将牛油和碳酸钾、胃蛋白酶共同蒸煮，分离后再混合牛乳、水进行搅拌压制成人造黄油，他先后在英国和法国取得专利。

今天的人造黄油是用植物油做原料，经过加氢化学反应而制成。化学家们在 19 世纪初经过化学分析，确定黄油、牛油、猪油等固体动物油脂主要是饱和脂肪酸酯，也就是分子中含氢原子数达到饱和，而豆油、花生油等液体植物油脂主要是不饱和脂肪酸酯。加氢反应就是使不饱和脂肪酸酯变成饱和的化合物分子。

加氢反应是法国化学家萨巴蒂埃和他的学生塞德伦的研究成果。他们的研究成果是使液体的脂肪酸（油酸）经氢化反应转变成固体脂肪酸（硬脂酸）。这就为人造黄油开辟了道路。萨巴蒂埃因此获得 1912 年诺贝尔化学奖。

2）加碘反应

不饱和脂肪酸甘油酯也可以和碘发生加成反应，通常用来判断油脂的不饱和程度。油脂的不饱和程度常用“碘值”表示。100g 油脂与碘加成所需碘的克数称为碘值。碘值是油脂性质的重要常数，碘值大，表示油脂的不饱和程度高。

3. 酸败

油脂贮存过久就会变质，产生一种难闻的气味，这种现象叫油脂的酸败。油脂的酸败是由于空气的氧化、微生物的分解或部分水解生成醛、酮和游离脂肪酸的缘故。油脂的酸败不

仅使气味难闻，还使油脂中的维生素被破坏，失去了营养价值。光、热、和湿气的存在都会加速油脂的酸败。因此，储存油脂最好用棕色瓶子或不透光的密封容器，放在阴凉、干燥的地方；也可在油脂中加入少量的抗氧化剂（如维生素 E 等），以防酸败。



油脂的营养作用

油脂是人类膳食中不可缺少的营养素，食物中的油脂对人体有以下几个方面的营养作用。

1. 供给能量，维持体温

脂肪是三大营养物质中产能最高的一种营养素。脂肪被机体吸收后，每克脂肪产生 38kJ 能量，脂肪释放的能量是蛋白质或糖的 2.25 倍。人体的皮肤下面有一层脂肪，脂肪是一种较好的绝缘物质，在寒冷的季节具有隔热作用，防止体热散发，可维持人体体温恒定。

2. 主要的储能物质

脂肪在人体内相当于储存能量的“燃料库”。当机体能量消耗（饥饿或需强体力时）大于摄入量时，先动用体内脂肪，它释放出来的能量以补充机体所需的能量，以免机体消耗蛋白质。

3. 固定和保护内脏

脂肪在器官周围像一个软垫，能避免器官相互摩擦和移位，能缓冲机械冲击，对身体的脏器可起保护和固定作用，使人体器官免受外界碰撞而对其造成损伤。

4. 产生饱腹感

由于脂肪在人体胃里停留时间较长，因此摄入含脂肪高的食物，可使人体产生饱腹感，不易引起饥饿。

5. 提供必需脂肪酸，调节生理机能

必需脂肪酸对维持正常机体的生理功能有重要作用。如果缺乏必需的脂肪酸，往往表现为上皮功能不正常，发生皮炎，对疾病的抵抗力降低，生长停滞等。饮食中必须注意多从植物中摄取必需脂肪酸。

6. 促进维生素的吸收和利用

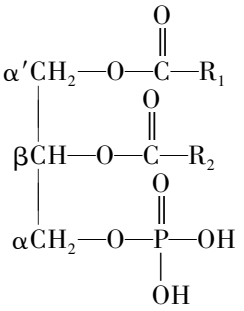
人体所需要的维生素 A、D、E、K 均不溶于水，只溶于脂肪或脂溶剂，故称为脂溶性维生素。脂肪可促进脂溶性维生素的吸收和利用。例如，作为维生素 A 原的 β－胡萝卜素，在人体内可转化为维生素 A，但必须要有脂肪的帮忙；其他含有 β－胡萝卜素的蔬菜必须在油脂中烹饪才能使其中的脂溶性维生素充分溶解出来，有利于人体吸收和利用。如果摄入的膳食中缺乏脂肪，将影响脂溶性维生素的释放，不利于人体对脂溶性维生素的吸收和利用。



类脂——磷脂

磷脂是含有磷酸组分的脂质。常见的有磷脂酰胆碱（卵磷脂）和磷脂酰乙醇胺（脑磷脂）。在动物的心、脑、肾、肝、骨髓及禽蛋的卵黄中，这两种磷脂的含量很丰富。大豆中的磷脂则是卵磷脂和脑磷脂及其他磷脂的混合物。

卵磷脂和脑磷脂的母体结构是磷脂酸，其结构式如下：

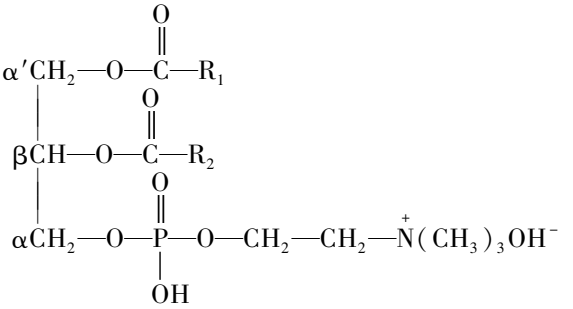


α－磷脂酸

甘油分子中的三个羟基有两个与高级脂肪酸形成酯，另一个α位上的羟基与磷酸形成酯。

磷脂酸中磷酸上的一个羟基与胆碱形成的酯是卵磷脂。结构式如下：

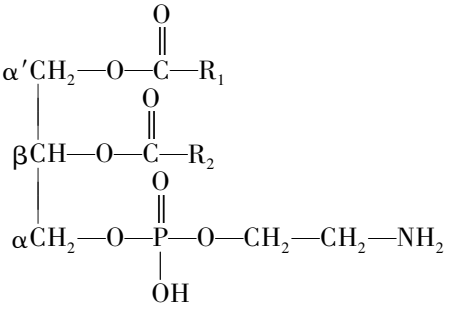
胆碱



α－磷脂酰胆碱

磷脂酸中磷酸上的一个羟基与乙醇胺形成的酯是脑磷脂。结构式如下：

乙醇胺



α－磷脂酰乙醇胺

卵磷脂和脑磷脂都不溶于水，易溶于氯仿、乙醚等有机溶剂。新鲜制品都是无色的，有吸水性，在空气中放置易变为黄色或棕色。



磷脂在生物体内主要的生理功能

1. 磷脂是良好的乳化剂

它在生物体内能使油脂乳化，有助于油脂的运输、消化和吸收。

2. 构成生物膜的重要组成成分

磷脂可与蛋白质结合形成脂蛋白，进一步构成细胞的各种膜，如细胞膜、核膜、线粒体

膜等，维持细胞和细胞器的正常形态和生理功能。

3. 参与神经组织的功能

脑及其他神经组织尤其是中枢神经组织中含有大量磷脂，磷脂和神经兴奋性有关，对神经功能有着重要的影响力。

4. 促进胆固醇的酯化

卵磷脂在人体内可转变为胆碱，具有促进脂肪代谢的功能，并去除附着于血管壁的胆固醇沉积，防止脂肪在体内积聚。在胆汁中，磷脂与胆盐、胆固醇一起形成胶粒，以利于胆固醇的溶解和排泄。

5. 具有提高脑细胞的活性、增强记忆力的作用

磷脂在一定的条件下可转化为乙酰胆碱，乙酰胆碱是传导联络大脑神经元之间的重要神经递质，对改善记忆起到积极的作用。

6. 具有运转脂肪的作用

磷脂对脂肪的吸收、运转及储存脂肪酸，特别是不饱和脂肪酸，都起着非常重要的作用。只有在磷脂含量充足时，才有利于脂肪和胆固醇在血液中顺利完成以上任务。

7. 具有促进生长发育的作用

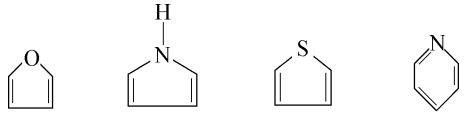
磷脂可使细胞发育旺盛，表现在细胞层次增多，细胞核和核仁显著增大，核质和角质颗粒增多，从而促进动物的生长发育。

第四节　杂环化合物和生物碱

杂环化合物是一类很重要的化合物。许多天然产物，如叶绿素、血红素、细胞色素、抗生素、维生素和绝大多数生物碱都是杂环化合物，这些物质在生物体内都有重要的生理作用。杂环化合物也是合成许多药物、染料、塑料、农药等的原料。

一、杂环化合物

在环状化合物中，组成环的原子除碳原子外，还有其他元素的原子时，这类化合物叫做杂环化合物。环中除碳原子外的其他原子叫杂原子。常见的杂原子有氧、氮、硫，而以氮为最重要。多数杂环化合物都具有类似苯环的稳定结构，并具有一定的芳香性，与苯的性质相似。例如：



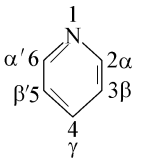
呋喃　　吡咯　　噻吩　　吡啶

（一）杂环化合物的分类和命名

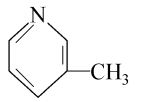
杂环化合物一般可分为单杂环和稠杂环两大类。常见的单杂环有五元杂环和六元杂环。稠杂环常由苯环与单杂环或单杂环与单杂环稠合而成。环中的杂原子可以是一个、两个或多个，而且杂原子可以相同，也可以不同。

杂环母体的命名原则上是音译法，即按照杂环的外文名称音译，以“口”旁作为杂环的标志。例如，Furan 译为呋喃，Pyrrole 译为吡咯等。

如果环架上有取代基时，取代基的位次应从杂原子开始，依次用 1，2，3，…或用 α，β，γ，…编号。例如：



吡啶



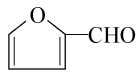
3－甲基吡啶或 β－甲基吡啶

（二）重要的杂环化合物及其衍生物

1. 呋喃及其衍生物

呋喃是无色而有特殊气味的液体，不溶于水而溶于乙醇、乙醚等有机溶剂。呋喃是有机合成的原料。呋喃蒸气遇盐酸浸过的松木片显绿色，可用于鉴别呋喃。

呋喃的重要衍生物是 α－呋喃甲醛，俗名叫糠醛。其结构式如下：



糠醛（α－呋喃甲醛）

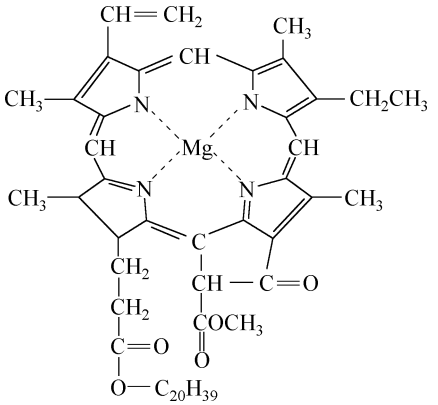
糠醛最初是从米糠中得来，故俗称糠醛。实际上，很多农副产品（如麦秆、玉米芯、高粱秆、棉子壳、花生壳等）都可用来制取糠醛。

纯净的糠醛是无色液体，在光、热及空气中很快变成黄色、褐色以至黑色，并产生树脂状聚合物。糠醛的化学性质与苯甲醛相似。它是一种特殊的溶剂和有机合成的重要原料，可用于制造酚醛树脂和农药等。

2. 吡咯及其衍生物

吡咯存在于煤油和骨焦油中，是无色液体，难溶于水而易溶于乙醇、乙醚和苯等有机溶剂。在空气中因氧化而迅速变黑，并逐渐变为树脂状物质。

吡咯的重要衍生物是叶绿素，其结构式如下：



叶绿素广泛存在于植物的叶和茎中，它参与绿色植物的光合作用，使太阳能转变为化学能而储藏在形成的有机化合物中。因此，叶绿素在植物体内具有重要的生理意义。

叶绿素有多种，最重要的是叶绿素 a 和叶绿素 b。叶绿素 a 和叶绿素 b 在大多数植物中的比例为 3∶1。叶绿素 a 是蓝黑色粉末，其乙醇溶液呈蓝绿色，并有深红色荧光。叶绿素 b 是深绿色粉末，其乙醇溶液呈绿色或黄绿色，并有红色荧光。二者都易溶于乙醇、乙醚、丙酮、氯仿等，而难溶于石油醚。

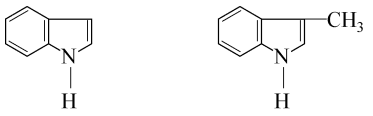


如何制作植物标本?

用硫酸铜酸性溶液小心处理叶绿素，铜取代镁，这时，叶绿素其他部分的结构没有改变，仍呈绿色，而且比原来的绿色更加稳定。在浸制植物标本时，常用这个方法长期保持植物的绿色。

3. 吲哚及其衍生物

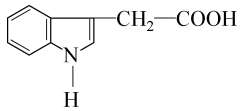
吲哚属于稠杂环。它存在于煤焦油中。蛋白质腐败时产生吲哚和甲基吲哚残留于粪便中，是粪便的臭气的成分之一。



吲哚　　β－甲基吲哚（类臭素）

吲哚是无色片状晶体，不溶于水，而溶于有机溶剂和热水中。吲哚的化学性质与吡咯相似，具有极弱的碱性。

β－吲哚乙酸是许多吲哚衍生物之一。它存在于酵母、高等植物的生长点及人、畜尿内，能刺激植物生长，是一种常用的植物生长刺激素，其结构式如下：



β－吲哚乙酸

β－吲哚乙酸是无色晶体，微溶于水，易溶于醇、醚有机溶剂。它在中性或酸性溶液中不稳定，但其钾、钠盐的水溶液则较为稳定，所以一般都使用它的钠盐。β－吲哚乙酸是较早发现的内源激素之一，是植物生长素的一个主要成员，农林业上常用它来刺激植物的插条生长，以及促进无子果实的形成。

二、生物碱

生物碱是一类重要的天然有机化合物。自 1803 年从鸦片中分离出吗啡以后，迄今为止已从自然界中分离出 1 万多种生物碱。生物碱是指存在于生物体内，具有明显生理活性的碱性含氮有机化合物。大多数生物碱是结构复杂的含氮杂环化合物，少数是胺类化合物。

生物碱来源于植物，所以也称植物碱。生物碱在植物体内常与有机酸（苹果酸、柠檬酸、草酸等）结合成盐而存在，也有与无机酸（磷酸、硫酸、盐酸）结合存在的。生物碱是一些中草药的重要有效成分，对人体有特殊的生理活性，具有止痛、平喘、止咳、清热、抗癌等作用，被广泛用于治疗疾病。但是，生物碱一般毒性较大，适量使用能治疗疾病，用量过大则可能引起中毒以致死亡。



科学家——伍德沃德

伍德沃德是著名的有机化学家，也是当代复杂有机物合成大师之一。

伍德沃德出生于美国波士顿。1933 年，16 岁的他进入麻省理工学院读书，并立志要做

一名化学家，他于1936年获得学士学位，1937年获得博士学位，当时他才20岁。

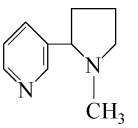
获得博士学位后，伍德沃德把全部精力投入到天然有机化合物生物碱和甾醇族化合物的合成研究上。奎宁碱的结构经过30多个有机化学家的研究才基本搞清，1944年，伍德沃德正式合成了奎宁碱，当时他才27岁。的士宁（$C_{21}H_{21}N_2O_2$）是一种结构独特的化合物，1954年，伍德沃德等人以精湛的技巧和顽强的毅力完成了它的合成。利血平是一种具有降血压和镇定神经作用的药物，1952年首次由蛇根萝夫藤中分离得到，1954年，它的结构剖析成功。1956年，伍德沃德又合成了羊毛甾醇（$C_{30}H_{50}N_2O$）等。这些天然有机化合物，包括后来结构更为复杂的叶绿素、维生素B_{12}的合成成功，被认为是当时合成化学的最高水平。

伍德沃德还善于对实际经验进行归纳总结，使之上升为理论。1965年，他和量子化学家霍夫曼合作提出了分子轨道对称性守恒原理，通常称为伍德沃德—霍夫曼规则，因而于1965年获得诺贝尔化学奖。

下面介绍几种重要的生物碱及其生理功能和用途。

1. 烟碱

烟碱又名尼古丁，是烟草中的主要生物碱，在国产烟叶中约含1%～4%。从结构上看，烟碱是由吡啶与四氢吡咯两个杂环所组成的，其结构式如下：



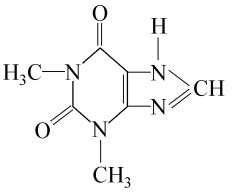
烟碱

烟碱是无色或淡黄色的油状液体，味极辛辣，可溶于水，也溶于乙醇、乙醚及石油醚中，能随水蒸气挥发而不分解。

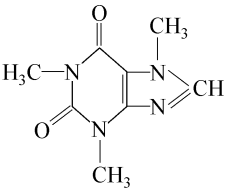
烟碱剧毒，少量能引起中枢神经的兴奋，血压升高，大量就会抑制中枢神经系统，使心脏麻痹致死。成人口服致死量为40～60mg。因此，吸烟对人体有害，尤其是对青少年危害更大，应提倡不吸烟！在农业上，烟碱可用做杀虫剂。

2. 茶碱与咖啡碱

茶碱存在于茶叶中，但含量很少。咖啡碱存在于咖啡和茶叶中。茶碱是无色针状晶体，咖啡碱也是无色针状晶体，都有苦味，它们都易溶于热水，难溶于冷水。两者的结构式如下：



茶碱



咖啡碱

茶碱和咖啡碱都具有刺激中枢神经的作用，可用做兴奋剂，在医药上都可用做利尿剂。

3. 吗啡（$C_{17}H_{19}NO_3$）、可卡因（$C_{18}H_{21}NO_3$）和海洛因（$C_{21}H_{23}NO_5$）

吗啡、可卡因和海洛因都广泛存在于鸦片中，它们都属于异喹啉类生物碱。鸦片是罂粟果流出的乳汁，经日晒成黑色膏状物质。鸦片中含有25种以上的生物碱，其中以吗啡最重要，约含10%；其次为可卡因，约含0.3%～1.9%。

吗啡是白色晶体，微溶于水，水溶液有苦味，它对中枢神经有麻醉作用，有极快的镇痛效力，但久用成瘾，要严格控制使用。医药上常用盐酸吗啡。

可卡因是吗啡的甲基醚，是甲基取代吗啡分子中酚羟基的氢原子而得到的化合物。可卡因镇痛作用较吗啡弱，镇咳效果较好，成瘾性虽小，但仍不宜滥用。

海洛因是无色粉末状物质，俗称白粉或白面。海洛因是麻醉作用和毒性都比吗啡强得多的毒品，极易成瘾，绝对不能食用。



植物碱——药物、毒物、毒品

1805 年，德国的一位年轻药剂师塞尔杜纳发现从鸦片中分离出的一种物质能与酸作用形成盐，具有催眠效果。11 年后，他提纯获得这一物质的晶体——吗啡。它的这一发现让各国药学家们和化学家们先后从鸦片中发现了那可丁、可卡因、奎宁、辛可宁、马钱子碱、咖啡碱等。

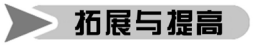
这些来自植物的碱，大多不溶于醇和一些有机溶剂，有苦味，对人和动物具有明显的生理作用和毒性。德国化学家李比希确定它们分子中共同含有氮原子，是复杂环状结构的一部分，称为植物碱，又因其中少数来自动物，因而又称为生物碱。

这些生物碱既是很好的药物，但也是毒物。例如，吗啡 $C_{17}H_{19}NO_3$ 是鸦片的主要组成成分，它是无色晶体，无臭、味苦，易溶于水，具有镇痛、止咳、兴奋、抑制呼吸及肠蠕动作用，常用会成瘾而中毒。吗啡中的两个羟基经乙酸酐的乙酰化作用后，就是我们通常所说的“海洛因”，它是无色粉末状物质，俗称白粉或白面。原先是为了寻找吗啡的安全代用品而研制，哪知它比吗啡更易成瘾，更毒。虽然它可成为止痛，医治抑郁症、支气管炎、哮喘、胃癌的药物，但吸食后上瘾很快。最初吸毒的那种快感和幻觉在 3 ~ 5 个月后逐渐消失，最终导致死亡，成为一种对人危害很大的毒品。

4. 黄连素（$C_{20}H_{23}O_3N$）

黄连素又名小檗碱。是黄连、黄柏、黄藤、三棵针等中草药的有效成分。在我国四川的名产药材黄连中，小檗碱含量达 7% 以上。

黄连素是黄色晶体，它的性质与一般的生物碱不同，难溶于丙酮、氯仿、乙醚或苯，可溶于水和酒精中，但在热水和热酒精中溶解度更大一些。它的盐类微溶于冷水，易溶于热水中。黄连素的抗菌能力很强，是临床上广泛使用的杀菌消炎药物，用于治疗肠胃炎及细菌性痢疾，味极苦。



绿 色 农 药

农药是农业生产中十分重要的生产资料，在防治病虫害、夺取农业生产丰收方面起着非常重要的作用。近几十年来，农药的品种类型不断增多，全世界目前有 1500 多种农药，年产量超过 200 多万吨。农药的广泛大量使用，一方面给农业生产的飞速发展提供了有力的保障，另

一方面也给人类的生存环境造成了一定的污染，给人类的生存带来了危害和不利的影响。从绿色化学的角度来讲，用对环境和人畜无害的绿色农药来代替高效高毒的传统农药是大势所趋。

绿色农药也叫无公害农药，是指在生产、加工、运输进程中比较安全，有高度的选择性，即对有害生物防效优良，而对人畜及各种微生物毒性小或无毒，在外界环境中易于分解，对环境及农产品不造成污染的农药。

常见的绿色农药可分为以下四种类型。

（1）化学合成农药。由于DDT、六六六等化学农药的毒性对环境的影响，许多国家都停止生产和使用有机氯农药，所以超高效、低毒害、无污染的化学合成农药就成为目前绿色农药的主攻方向之一。例如，磺酰脲类除草剂有很高的除草效率，比传统除草剂的除草效率提高100～1000倍。

（2）生物农药。生物农药是利用生物活体或其代谢产物对有害生物进行防治的一类制剂，与一般的化学合成农药相比，它具有选择性强、不易产生抗药性、无污染、生产原料广泛等优点。生物农药按来源可分为微生物农药、植物源农药、抗生素类农药、生物化学农药四大类。例如，苏云金杆菌是使用最广泛的微生物农药，可用于防治柿、苹果等的150多种鳞翅目及其他多种害虫。

（3）氨基酸类农药。由于氨基酸衍生物具有毒性低、高效无公害、易被生物全部降解利用、原料来源广泛等特点，因此作为农药使用一出现就显示出强大的生命力。例如，草铵膦是世界大吨位农药品种，也是世界第二大转基因作物耐受除草剂。草铵膦毒性低，用量少，环境压力小，杀草迅速，能快速杀死100种以上的禾本科和阔叶杂草。

（4）特性农药。主要是昆虫生长调节剂和植物激活剂两种。前者是主要攻击昆虫的生长发育系统，使昆虫的繁殖能力下降，能杀死对有机氯、有机磷、氨基甲酸酯、拟除虫菊酯等具有抗性的害虫的化合物。后者是指本身并无杀虫作用，但能够激发植物的免疫系统，从而产生对病虫害抵抗性的化合物。

例如，呋喃虫酰肼是具有仿生性质的昆虫生长调节剂，它对多种危害严重的鳞翅目害虫（如小菜蛾、二化螟、茶尺蠖、柑橘潜叶蛾等）都表现出较高的生物活性，但对哺乳动物和鸟类、鱼类、蜜蜂毒性极低，对环境友好，属微毒农药。因此，它是一个非常有希望的创新农药，可以用做高毒杀虫剂的替代品种。康壮素是一种新型植物激活剂，对40多种作物上约60种病害都有不同程度的抗病作用。

第五节　高分子化合物

高分子化合物是相对分子质量很大的化合物：一类是天然有机高分子化合物，如蛋白质、淀粉、纤维素；另一类是合成有机高分子化合物，如三大合成材料——塑料、合成橡胶、合成纤维。现在合成材料的使用远远超过了天然高分子材料，从人们的衣、食、住、行到现代工业、农业、尖端科学技术中已成为不可缺少的应用材料。目前，世界合成高分子材料的年产量已超过全部金属材料的产量，因此，21世纪被称为聚合物时代。

一、高分子化合物概述

（一）高分子化合物的含义

高分子化合物是指相对分子质量高达10^4～10^6的大分子化合物。由于高分子化合物大部

分是同一种或几种小分子化合物经聚合反应以共价键连接而成的，所以也叫高聚物或聚合物。

虽然高分子化合物的相对分子质量很高，但其元素组成和分子构造并不复杂。它是由简单的构造单元以重复的方式连接而成，例如前面学过的聚合反应：

$$n\mathrm{CH_2=CH_2}\xrightarrow[400℃,\ 1000\mathrm{atm}]{0.01\%\ \mathrm{O_2}}\left[\mathrm{CH_2—CH_2}\right]_n$$

乙烯　　聚乙烯

其中，乙烯就是聚乙烯的单体，组成聚乙烯的重复构造单元$\left[\mathrm{CH_2—CH_2}\right]$称为链节，$n$表示链节的数目，称为聚合度。因此，高分子化合物的平均相对分子质量＝聚合度×单体的分子量。例如聚合度为2000的聚乙烯的相对分子质量＝2000×28＝56000。

实际上，同一种高分子化合物是由许多链节相同而聚合度不同的化合物组成的混合物，也就是说，同一种高分子化合物中各个分子的相对分子质量是不同的。因此，高分子化合物的相对分子质量是指平均相对分子质量。高聚物中相对分子质量不等的现象称为高分子化合物的多分散性。

（二）高分子化合物的结构

高分子化合物的结构可分为两种基本类型。

（1）线形结构。是分子中原子以共价键相互连接成一条很长的卷曲状态的“链”（叫分子链）。具有这种结构的高分子化合物称为线形高分子化合物。在线形结构的高分子化合物中有独立的大分子存在，这类高聚物在溶剂中或在加热熔融状态下，大分子可以彼此分离开来。

（2）体形结构。是分子链与分子链之间有许多共价键交联起来，形成三度空间的网状结构。具有这种结构的高分子化合物称为体形高分子化合物。在体形高分子物质中，没有独立的大分子存在，因而也没有分子量的意义，只有交联度的意义。

（三）高分子化合物的特性

高分子化合物相对分子质量很大，使得它与低分子化合物有很大的不同，表现出许多特殊的性质。

1. 溶解性和不挥发性

线形高分子化合物，因分子链间可以滑动，因而一般能溶解于适当的有机溶剂。例如，聚乙烯可以溶解在环己醇中。体形高分子化合物，因分子链间的相对移动困难，不易溶解。

高分子化合物由于相对分子质量很大，一般不挥发，因此不能用蒸馏方法来提纯。

2. 密度和机械强度

高分子化合物虽然相对分子质量很大，但一般密度较小。

高分子化合物由于其分子链具有线形和网状结构，分子中原子数目又非常多，因此分子间作用力较大，具有良好的机械强度。某些高聚物可代替一些金属，制成多种机械零件，有的比金属强度还大。例如，将10g高分子材料或金属材料做成100m长的绳子吊重物，尼龙绳能吊15500kg，涤纶绳能吊12000kg，金属钛绳能吊7700kg，碳钢绳能吊6500kg。

3. 高弹性和可塑性

线形高分子化合物的分子链很长，由于通常情况下是卷曲的，当受到外力作用拉伸时，可稍被拉直，当外力去掉后，分子又恢复原来的卷曲形状，这种性质叫做弹性。例如，生胶是一种线形高分子化合物，它有很大的弹性。体形高分子化合物里的分子长链，如果交联不多，也有一定的弹性，如硫化橡胶；如果交联过多，就失去弹性而变成坚硬的物质，如硬橡皮、酚醛塑料等。

线形高分子化合物当加热到一定温度时，就会逐渐变软，最后到达黏性流动状态。在这种情况下，整个大分子可以移动，受外力作用时，分子间便互相滑动而变形，除去外力也不恢复原状，这种性质叫做可塑性。利用此性质可进行高分子材料的加工。例如，可用高分子材料吹制成农业上和日常用品用得最多的农膜和各种塑料袋；拉成各种各样的丝，可以织成布、渔网等。

体形高分子化合物因交联过多，当加热时不能软化，因此也就没有可塑性。

4. 电绝缘性和耐腐蚀性

高分子化合物分子中的原子以共价键结合，键的极性不大，没有自由电子，不易发生电离，不能导电，所以一般具有良好的绝缘性，可用于包裹电缆、电线，制成各种电器设备的零件等。

由于许多高分子化合物中含有 C—C、C—H、C—O 等饱和共价键，具有饱和烃的稳定性，能耐化学腐蚀。例如聚四氟乙烯可耐酸、碱，是城市建设中上、下水管用得很多的高分子材料。

高分子化合物除具有上述几种特性外，还有耐油、耐磨、不透水、不透气等特性。

二、重要的合成高分子材料

合成高分子材料主要是指塑料、合成橡胶、合成纤维三大合成材料及离子交换树脂、涂料、胶黏剂等。它们具有天然材料所没有的优越性能，其用途非常广泛，发展极为迅速。

1. 塑料

塑料由合成树脂及其他填料、增塑剂、稳定剂、润滑剂、着色剂等添加剂（为增强和改进塑料的性能）在一定的条件下塑制而成，其中树脂为主要成分，约占总质量的 40% ~100%。

塑料的种类很多，至今已达 300 多种，其中常用的有 60 多种。塑料是三大合成材料中产量最大、用途最广泛的一种。

塑料根据其受热后表现的特性，可分为热塑性塑料和热固性塑料。

热塑性塑料具有链状的线型结构，受热时软化，可以塑制成一定形状，并且能多次重复加热塑制，如聚乙烯、聚氯乙烯等。热固性塑料具有网状结构，加工成型后，加热不会软化，在溶剂中也不会溶解，如酚醛塑脂、环氧塑脂等。

塑料按其应用和使用性能，可分为通用塑料和工程塑料。

聚烯烃（聚乙烯、聚丙烯）、聚苯乙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂和氨基树脂被称为五大通用塑料，其产量占塑料总量的 75%，广泛应用于工农业生产、日常生活和国防上。

工程塑料是一类新兴的高分子合成材料，其机械强度好，是可代替金属用作工程材料的一类塑料。例如聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯和 ABS 树脂，称为四大工程塑料。它们广泛应

用于机械制造工业、仪器仪表工业、化工、建筑以及航空、国防等尖端科技方面，在这些领域内，它们已成为不可缺少的材料。

相关链接

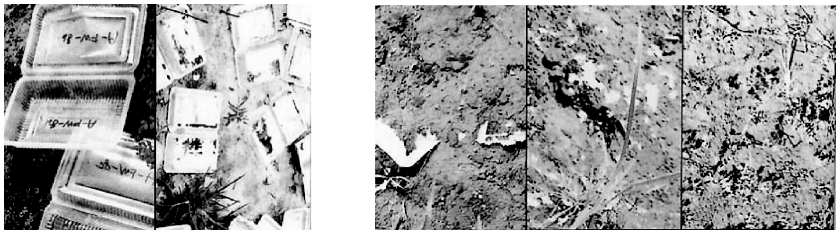
有机环保的高聚物——可降解塑料

自 20 世纪 70 年代以来，科学家开始研制不污染环境的可降解塑料。可降解塑料是指在一定条件下，可逐渐分解，直到最终成为二氧化碳和水的高聚物。目前已经开发研制并投入生产的可降解塑料主要有两类：一类是光降解塑料，另一类是生物降解塑料。

1. 光降解塑料

光降解塑料是在聚合物链上引入对紫外光敏感的基团。具有光敏基团的聚合物在紫外光照射下发生光化学反应，使聚合物的长链断裂，生成较低分子量的碎片。这些碎片在空气中进一步发生氧化作用，降解成为可被生物分解的小分子化合物，最终转化为二氧化碳和水。例如，以一氧化碳为光敏单体与烯烃共聚可得到聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯等光降解聚合物。以这些聚合物为母料，分别与同类树脂共混，就可以得到各种不同的光降解塑料。

用光降解塑料制成的包装袋、饭盒、农用薄膜等，废弃后，能在阳光照射下自动降解为二氧化碳和水，因而不会造成环境污染。可降解塑料的降解实验如图 7－4 所示。



初放时　　1 个月　　2 个月　　2.5 个月　　3 个月已消纳

图 7－4　可降解塑料的降解实验

2. 生物降解塑料

生物降解塑料是指在一定条件下，能被生物侵蚀或代谢而发生降解的塑料。这类塑料可以由淀粉、纤维素等多糖天然聚合物与人工合成聚合物共同混合而成，也可用容易被生物降解的单体与其他单体经共聚反应制得。

生物降解塑料的应用范围较广泛，除可用于制作包装袋和农用地膜外，还可用作缓释载体，包埋化肥、农药、除草剂等。这些缓释载体在土壤中经生物降解，使化肥、农药、除草剂等被包埋物逐渐释放出来，从而可持久、均匀地发挥效力。

在医疗方面，用生物降解塑料作为医药缓释载体，可使药物在体内较长时间地发挥最佳疗效；用生物降解塑料制成的外科用手术线，可被人体吸收，伤口愈合后不必拆线。

2. 合成纤维

纤维是一类具有一定长度、细度、强度和弹性的丝状高分子化合物。根据来源不同，纤维可分为天然纤维和化学纤维两大类。有些纤维是天然高分子化合物，称为天然纤维，如棉、麻、羊毛、蚕丝等。

相关链接

蛋白质纤维

蛋白质纤维是由天然蛋白质制成的性质类似羊毛的纤维，羊毛、蚕丝等为天然蛋白质纤维。1866 年，英国人 E. E. 休斯首先成功地从动物胶中制出人造蛋白质纤维。他将动物胶溶于乙酸，在硝酸酯的水溶液中凝固抽丝，然后以亚铁盐溶液脱硝，进一步加工得到蛋白质纤维，但未工业化。1935 年，意大利弗雷蒂才用牛乳内提取的奶酪素制成人造羊毛。天然蛋白质制成的蛋白质纤维与羊毛的性质差不多，基本结构单元都是氨基酸，以酰胺键（肽键）结合在一起的高分子。与天然羊毛相比，它优越之处在于不易皱缩，不易虫蛀，易保存；缺点是保暖性及柔软性较天然羊毛差。工业上生产蛋白质纤维的主要原料是乳酪素、花生蛋白及大豆蛋白等。

用化学方法制得的纤维称为化学纤维，根据使用的原料不同又分为人造纤维和合成纤维。

人造纤维是以天然纤维（如木材、短棉绒、稻草等）为原料，经过化学加工处理得到的性能比天然纤维优越的新纤维，又叫再生纤维，例如粘胶纤维、醋酸纤维等。

合成纤维是以煤、石油、天然气和农副产品作原料制成单体，经过加聚反应或缩聚反应制得的高分子化合物，再经过纺丝加工而制成的纤维。合成纤维都是线型高聚物，有较好的强度和挠曲性能；同时还具有质轻、耐磨、耐腐蚀、不怕虫蛀、不会发霉等特性；成为现代人类重要的衣着材料之一。例如，合成纤维中的涤纶、锦纶、腈纶、丙纶、维纶和氯纶被称为“六大纶”，具有比天然纤维和人造纤维更优越的性能。

合成纤维不仅为人民生活提供了经久耐用而美观的衣着材料，还为现代工业技术的发展提供了特殊性能的纤维。目前已有耐高温纤维、耐辐射纤维、防火纤维和光导纤维等。

相关链接

转基因植物与服装

在所有的非食品转基因作物中，最令人感兴趣的是棉花。除了现有的抗除草剂和抗虫的棉花品种外，还有许多正在发展的具有其他特征的转基因棉花。如把色素（主要是黑色素）引入棉纤维中，编码色素的基因由纤维细胞特异启动控制在棉纤维细胞中表达，使棉纤维呈现黑色或其他颜色。同样在棉纤维细胞中，如果在棉纤维细胞特异性启动子控制下引入与塑料合成有关的基因，如编码多聚羟基丁酸盐的基因，则在棉纤维细胞中就可以合成塑料。有色纤维能省去对环境有害的染色过程，所以有色纤维的应用不仅保护环境，而且也能节省人力、物力和财力。包含塑料核心的纤维能通过更高的热容和更低的导热性来提高其热学性质，可以制作绝缘衣服。另一提高衣服质量的途径是把含硫蛋白导入牧草中，羊吃了这种转基因牧草后能够提高羊毛的生长速率及羊毛的质量，从而间接地提高了服装的质量。

3. 合成橡胶

橡胶是一类具有高弹性能的高分子化合物。按照橡胶来源不同，可分为天然橡胶和合成

橡胶两大类。

天然橡胶是由橡胶树和橡胶草的胶乳经化学处理制得，由于橡胶树只适宜在热带和亚热带地区生长，因此天然橡胶生产，受到地理条件的限制，远远不能满足日益发展的工业需要。

合成橡胶是由人工合成的具有天然橡胶性能的线型高分子化合物。合成橡胶按照性能和用途不同，可分为两类：一类是通用橡胶，如顺丁橡胶和丁苯橡胶等，用于制造轮胎及一般橡胶制品；另一类是特种橡胶，如硅橡胶等，用于制造具有特殊性能（如耐高温、耐油、耐老化等）并适合特殊条件下使用的橡胶制品，如电缆、运输带、油箱、胶管、密封垫、储槽衬里等。

合成橡胶的出现不仅弥补了天然橡胶数量上的不足，而且品种较多，有的在某些性能上优于天然橡胶，具有一些特殊的用途。因此，发展合成橡胶生产，对于工业、农业、交通、国防建设和科学技术的发展，都有十分重要的意义。目前，世界上橡胶生产中合成橡胶占有越来越重要的地位。



橡　胶

橡胶的弹性极佳，在外力作用下可以拉伸到原来长度的7～8倍，外力一消失，它又迅速地恢复到原来的状态。橡胶不但具有优异的弹性，还具有绝缘性、不透气性、耐腐蚀性、抗磨损性等优良性能。

橡胶是从含有橡胶的树里流出来的白色树汁。用树汁晒干而成的橡胶，叫生橡胶。它稍一受热，就又软又粘。天气一冷，它又变得又硬又脆，这就使得这种生橡胶没有什么实用价值。这些问题一直到1844年由美国人古德意发明了橡胶硫化技术后才得到彻底解决。

橡胶的相对分子质量为几十万到几百万。橡胶分子里的碳原子一个连着一个，好像一条长长的碳原子链，线形链必然会卷曲而且纠缠在一起。当受到外力作用时，它就会伸长；外力去掉后，又恢复原状，这也就是橡胶富有弹性的原因。但是，生橡胶的线形结构有很大缺点。一受热，橡胶就发粘变软；一遇冷，橡胶就发硬变脆。当在生橡胶中渗入硫黄粉并加热后，使原来像一团乱麻似的结构变得具有一定的形状，强度大大提高了，受热遇冷，不粘不硬，更加富有弹性。

在20世纪初，人们开始探索天然橡胶的秘密。化学家将橡胶放在烧瓶里，进行分解，发现橡胶是由许许多多的异戊二烯结合而成的：

$$n\mathrm{CH_2{=}\underset{\displaystyle\mathrm{CH_3}}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2}\rightarrow\left[\mathrm{CH_2{-}\underset{\displaystyle\mathrm{CH_3}}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2}\right]_n$$

它是一种线形的高分子化合物，链间没有交联，具有弹性，相对分子质量为8～30万。此后，科学家就开始了制造合成橡胶的工作。1926年，苏联化学家发明了用酒精制造丁二烯的方法，并用丁二烯合成了丁钠橡胶。目前，已发明了几十种合成橡胶，合成橡胶的原料可以从石油得到源源不断的供应。现在，年产量已达到600多万吨，远远超过了天然橡胶的产量。合成橡胶生产发展快，可胜任某些天然橡胶所不能担当的工作。

新型高分子材料

能源、信息和材料并列为新科技革命的三大支柱，而材料又是能源和信息发展的物质基础。在重要的合成高分子材料的基础上，人们始终在不断地研究、开发着性能更优异、应用更广泛的新型高分子材料，来满足计算机、光导纤维、激光、生物工程、海洋工程、空间工业和机械工业等尖端技术发展的需要，这些新型高分子材料包括具有分离功能的高分子膜、具有光、电、磁等特殊功能的高分子材料，生物高分子材料，医用高分子材料，隐身材料、液晶高分子材料和光致变色高分子材料等。这些新型有机高分子材料在我们的日常生活、工农业生产和尖端科学技术领域中起着越来越重要的作用。下面简要介绍其中的几种。

1. 功能高分子材料

功能高分子材料是指既有通用高分子材料的机械性能，又有某些特殊功能的高分子材料。

1）生物医用高分子材料

在医学上，人们一直想用人工器官代替病变器官，但是材料问题一直无法解决。直到性能优良的生物医学材料的出现，人们的这种愿望才初步得以实现。合成高分子材料一般具有优异的生物相容性，不会引起血液凝固，也不会破坏血小板等，而且还有很高的机械性能，可以满足人工器官对材料的苛刻要求，例如人的心跳一般约为 75 次每分钟，如果使用 10 年，人工心脏就得反复挠曲 4 亿次，这样高的要求，一般材料是很难胜任的，目前大都使用硅聚合物和聚氨酯等高分子材料。

近年来，人工器官的研究取得了令人瞩目的成就，可以说现在除了大脑以外，几乎所有的人工器官都已取得进展，大部分人工器官已经成功地应用于临床治疗，取得了相当好的疗效。人工器官的发展带来了医学的巨大进步，可望逐步实现人类除大脑之外的所有患病器官都能用人工器官替代的愿望。所有这些再加上新型高分子药物的发展，人类的寿命将会大大延长。



纳米材料的用途

纳米材料就是粒子直径仅为几个纳米，它们的用途很广，主要有以下几个方面。

医药　使用纳米技术能使药品生产过程越来越精细，因为在纳米的尺度上可能直接利用原子、分子的排布来制造具有特定功能的药品。纳米材料粒子将使药物在人体内的传输更为方便，用数层纳米粒子包裹的智能药物进入人体后可主动搜索并攻击癌细胞或修补损伤组织。使用纳米技术的新型诊断仪器只需检测少量血液，就能通过其中的蛋白质和 DNA 诊断出各种疾病。

家电　用纳米材料制成的多功能塑料，具有抗菌、除味、防腐、抗老化、抗紫外线等作用，可用做电冰箱、空调外壳内的抗菌除味塑料。

电子计算机和电子工业　计算机在普遍采用纳米材料后，可以缩小成为“掌上电脑”。

环境保护　环境科学领域出现功能独特的纳米膜。这种膜能够探测到由化学和生物制剂造成的污染，并能够对这些制剂进行过滤，从而消除污染。

纺织工业　在合成纤维树脂中添加纳米 SiO_2、纳米 ZnO、纳米 SiO_2 复配粉体材料，经抽

丝、织布，可制成杀菌、防霉、除臭和抗紫外线辐射的内衣和服装，用于制造抗菌内衣、用品，并制得满足国防工业要求的抗紫外线辐射的功能纤维。

机械工业　采用纳米材料技术对机械关键零部件进行金属表面纳米粉涂层处理，可以提高机械设备的耐磨性、硬度和使用寿命。

为推进我国功能纳米材料的产业化进程，中国商品交易中心和中国科学院化学研究所共同组建了北京中商世纪纳米技术有限公司，该公司将以中国科学院化学研究所功能纳米界面材料研究级为技术依托，致力于功能纳米界面材料技术的开发与推广。

2）感光高分子材料

在光的作用下以能迅速发生光化学反应，产生物理或化学变化的高聚物称为感光性高分子材料，如光致变色高分子是一类有特殊用途的感光性高分子材料。在丙烯酸类高分子侧链上引入硫代缩氨基脲基团，在光照时可出现不同的颜色，当光照停止时又恢复原来的颜色，也可用在动态图像中储存信息。作为激光、电焊光、强烈阳光照射下的护目镜，可以使眼睛免受伤害。作为玻璃的涂料，则可以自动调节室内光线，并美化了建筑物。

2. 复合材料

复合材料是指由两种或两种以上材料组合而成的，物理和化学性质与原材料不同，但又保持其原来某些有效功能的新材料。在复合材料中，一种材料作为基体，另外的材料作为增强剂。近代开发的复合材料有一种是用线型酚醛树脂浸渍过的布或玻璃纤维，经干燥、加热、加压制成的复合材料——玻璃纤维增强材料（又称玻璃钢），它质轻而坚硬，机械强度可与钢材相比，可做船体、汽车车身等。

由于原子能、航空、航天、电子、化工等的发展，对材料的韧性、耐磨、耐腐蚀、耐高温、电性能等提出了更高要求，使现代先进复合材料蓬勃发展起来。现代使用最广、效果最好的复合材料有纤维增强塑料、纤维增强金属、纤维增强陶瓷等。

复合材料具有强度高、材料轻、刚性大，抗疲劳性能、减振性能和高温性能好等特点。在综合性能上超过了任何单一材料，因此，复合材料就成为理想的航空、航天材料，成为宇航业发展的关键所在。此外，复合材料的生产工艺将不断完善和简化，成本不断降低。专家预测，21 世纪复合材料的用量将会超过钢铁，成为未来的常规材料。



液晶材料

液晶材料是正在发展中的新型材料。液晶广泛应用于钟表、各种仪器仪表的显示。

1888 年，奥地利植物学家莱尼茨尔在研究胆甾醇苯甲酸酯和醋酸酯的性质时，意外地观察到一种奇怪的现象：这些酯类化合物在受热熔化后，首先变为浑浊的液体，同时呈现出五颜六色的美丽光泽；当继续加热升温时，才转变成清亮透明的液体。这些化合物熔化后为什么会存在一种浑浊的中间状态呢？为了探究内在原因，他写信给德国物理学家莱曼，并提供了实验样品，希望能得到解答。莱曼是当时欧洲著名的晶体物理学家，他亲自设计了一个新式实验装置，并对样品进行了细致的测试。结果他发现，这些化合物受热熔化后所呈现的浑浊中间态不仅具有液体的流动性，同时还具有晶体所特有的各向异性。因此，他把这类化合物命名为液晶，顾名思义，就是液态晶体。

实际上，液晶态就是物质介于液体和晶体之间的一种状态。有人将液晶态与物质的气态、液态和固态三态并论，称之为物质的第四态。

大量的研究表明，能呈现液晶态的化合物大多是一些具有刚性的棒状有机物分子，有一些液晶材料是芳香族酯类、炔类、冠醚类以及具有奇特性能的胆甾醇类等。当温度升高时，液晶的颜色依次从红色转变为黄、绿、蓝、紫等颜色；当温度降低时，液晶的颜色将逆向依次从紫色转变为红色。显然，液晶的颜色与温度存在着对应关系。

现在，只要将液晶测温膜贴在额头上，立即就可测出人的体温。这种测温膜非常适用于不便与医生直接配合的婴幼儿及特殊病人体温的测量。液晶测温膜还可用以确定病变部位。在生物体内，由于肿瘤的形成会伴随着血管增生，因而病变部位比正常组织的温度高。现在，医生可以方便地利用液晶测温膜粘贴在患者的病变处，通过观察液晶的颜色变化就可以确定病变的确切部位。

由于液晶膜显示热谱图鲜明直观，操作简便，因此除医疗上用于临床检查外，工业上还广泛用于金属仪上。



复习与提示

1. 糖

（1）糖的概念、分类及营养作用

（2）几种重要糖的化学性质，主要知识可归纳如下：

糖 \ 试剂	银氨溶液和费林试剂	溴水	碘溶液	酸催化水解
葡萄糖				不水解
麦芽糖		不反应		
蔗糖				
淀粉			深蓝色	
纤维素	不反应			

2. 蛋白质

蛋白质的组成、结构、化学性质和营养作用等主要知识可归纳如下：

元素组成	主要含 C、H、O、N，平均含氮量约为 16%
基本组成单位	
结构	一级、空间结构（二级（α－螺旋、β－折叠）、三级、四级）
化学性质	
营养作用	

3. 油脂

油脂的组成、结构、化学性质和营养作用等主要知识，归纳如下：

组成	高级脂肪酸的甘油酯
结构式	
化学性质	水解反应、加成反应（加氢、加碘）、酸败
营养作用	

4. 杂环化合物和生物碱

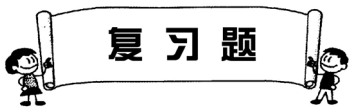
（1）杂环化合物的概念、分类和命名，几种重要的杂环化合物及其衍生物的性质和用途。

（2）生物碱的概念，几种重要的生物碱及其生理功能和用途。

5. 高分子化合物

（1）高分子化合物的概念、结构和主要特性。

（2）塑料、合成纤维和合成橡胶三大有机合成材料及用途。



一、填空题

1. 单糖都是_____糖。双糖中_____是还原糖，_____是非还原糖。多糖都是非_____糖。

2. 没成熟的苹果遇 I_2 变蓝色，说明其中含有_____；成熟苹果能还原银氨溶液说明其中含有_____。

3. α－氨基酸的通式是_____。肽键又叫_____键，可表示为_____。氨基酸具有两性性质是因为分子中既具有酸性的_____基和又具有碱性的_____基。

4. 蛋白质中含氮量平均为_____。组成蛋白质的基本单位是_____。蛋白质分子中的肽键可表示为_____。蛋白质的一级结构是一条_____长链。二级结构分为_____两种，其中_____是主要形式。

5. 油脂是_____和_____的通称，是_____和_____生成的酯，通式为_____。油脂在碱性条件下水解生成的_____俗称肥皂，故油脂在碱性条件下的水解反应又叫_____反应。

6. 在杂环化合物中，组成环的原子除碳原子外，还有_____等杂原子。杂环化合物具有类似_____的稳定结构。常见的单杂环有_____元杂环和_____元杂环。

7. 高分子化合物的结构可分为_____结构和_____结构两种，其中_____结构的高分子是一条能够_____的长链，这种高分子长链中，原子跟原子或链节间都是以_____键相结合的。

8. 人们常说的三大合成材料是_____、_____和_____。其中产量最大、用途最广的是_____。

二、选择题

1. G 是人生命活动所需能量的重要来源之一，它在人体组织中主要作用是（　　）。

A. 相互连接合成蛋白质　　B. 相互连接合成淀粉

C. 与水反应，同时放出能量　　D. 被氧化，同时放出能量

2. 下列物质属于还原糖的是（　　）。

A. 麦芽糖　　B. 蔗糖　　C. 淀粉　　D. 纤维素

3. 淀粉彻底水解的产物是（　　）。

A. 葡萄糖　　B. 果糖　　C. 二氧化碳　　D. 麦芽糖

4. 下列物质中互为同分异构体的是（　　）。

A. 葡萄糖和蔗糖　　B. 葡萄糖和麦芽糖

C. 麦芽糖和蔗糖　　D. 淀粉和纤维素

5. 下列关于蛋白质变性作用的各项中，正确的是（　　）。

A. 立体结构的破坏　　B. 肽键的断裂

C. 相对分子质量发生改变　　D. 一级结构的改变

6. 人发生铜、汞、铅等重金属盐中毒后，应先饮（　　）急救后，再送医院。

A. 蒸馏水　　B. 生鸡蛋清　　C. 生理盐水　　D. 白糖水

7. 医院是通常用高温蒸煮的方法对一些医疗器具进行消毒，其原理是使蛋白质发生（　　）。

A. 盐析　　B. 变性　　C. 氧化　　D. 分解

8. 分离和提纯蛋白质溶液，常用的方法是（　　）。

A. 加 $(NH_4)_2SO_4$　　B. 加热　　C. 加 $(CH_3COO)_2Pb$　　D. 加 $CuSO_4$

9. 下列叙述中不正确的是（　　）。

A. 天然油脂是混合物　　B. 油脂是由高级脂肪酸和甘油生成的

C. 油脂可发生水解反应　　D. 油酸是饱和脂肪酸

10. 天然油脂水解后的共同产物是（　　）。

A. 软脂酸　　B. 硬脂酸　　C. 油酸　　D. 甘油

11. 下列物质属于高分子合成化合物的是（　　）。

A. 棉花　　B. 人造棉　　C. 淀粉　　D. 有机玻璃

三、根据名称写出下列化合物的结构简式

1. 3－甲基吡啶　　2. 糠醛　　3. 吲哚

4. 葡萄糖　　5. 软脂酸　　6. 硬脂酸

四、用化学方法鉴别下列各组化合物

1. 葡萄糖和蔗糖　　2. 麦芽糖和蔗糖

3. 淀粉和纤维素　　4. 蛋白质和淀粉

五、问答题

1. 在浸制植物标本时，常用什么方法来长期保持植物的绿色？

2. 什么叫生物碱？分别写出几种重要的生物碱及其具有的生理功能。